

Prozessplanung zur (teil-) automatisierten Herstellung von Helikopter (H/C) Strukturbauteilen in Faserverbundbauweise

*Eine Entwicklung zur „Integrierten Planung“ von H/C Strukturbauteilen
mit den Planungstools der digitalen Fabrik*

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Dr.-Ing.

eingereicht an der
Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät
der Universität Augsburg

von

Niko Seeger

Augsburg, Februar 2016



Gutachter:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Kupke
Leiter des Lehrstuhls für Faserverbundkunststofftechnologie

2. Univ.- Prof. Dr.-Ing. Klaus Drechsler
Leiter des Lehrstuhls für Carbon Composite

3. Univ.-Prof. Dr. Andreas Rathgeber
Institut für Materials Resource Management

Datum der mündlichen Prüfung:

11.11.2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Untersuchungsgegenstand	3
3	Stand der Wissenschaft und Technik.....	4
4	Integrierte Produktions-Programmplanung in F&E	19
4.1	Integrierter Planungsprozess in F&E	19
4.2	Integriertes Planungsnetzwerk	21
5	Strategie und Vorgehensweise	25
5.1	Fertigungsstrategie „Front-End“	26
5.2	Montagestrategie „Back-End“	26
6	Integrierte Programm-Planungsprämissen.....	28
6.1	Integralbauweise.....	28
6.2	Automatisierungsgrad	28
6.3	H/C Produktstruktur	28
6.4	Fertigungsverfahren in F&E	29
6.5	Montageverfahren in F&E.....	30
6.6	Prüfverfahren in F&E.....	32
6.7	Produktionssteuerung	32
6.8	Programmlaufzeit.....	33
6.9	Technische Planzahl	34
6.10	Fertigungstyp.....	34
6.11	Produktionsraten.....	34
6.12	Lernkurve	34
6.13	Schichtmodelle.....	35
6.14	Stundensätze	36
6.15	Arbeits- und Kollisionsraum	36
6.16	Koordinatensysteme und Kinematische Kette.....	37
6.17	Stationen und Sektionen	37
7	Methoden und Tools	39
7.1	Methoden der Fertigung	39
7.2	Methoden der Qualitätssicherung	39
7.3	Alternative Methoden zur Produktionsplanung und Steuerung	40
7.4	Methoden der Programmierung.....	43
7.5	Methoden zur Kosten- und Investitionsrechnung.....	43
7.6	Softwaretools.....	45
7.7	Tool – Architektur.....	48
8	Anforderungsmerkmale	50
8.1	Qualität.....	50
8.2	Kosten, Produktivität & Wirtschaftlichkeit.....	53
8.3	Flexibilität	56
8.4	Sicherheit & Zuverlässigkeit.....	59
8.5	Ergonomie	60
8.6	Sonstige Anforderungsmerkmale	63

9	Produktplanung	64
9.1	Architektur – Framework	65
9.2	Design – Bodengruppe	66
9.3	Dimensionen und Gewichte	67
9.4	Lagenaufbau und Orientierung	67
9.5	Rohmaterialien	68
9.6	Produkt-Strukturplandaten-Analyse INSTRUKT Framework	68
10	Prozessplanung	72
10.1	Konzepterstellung „Front-End“ Prozesskette	73
10.1.1	Materialflussprozesse	73
10.1.2	Fertigungskonzepte und Fertigungsprozesse	76
10.1.3	Konzepte und Prozesse der Qualitätsprüfung	86
10.1.4	Produktionsplanungs- und Steuerungskonzept	87
10.1.5	Unterstützungsprozesse	88
10.1.6	Bedienvorgänge	89
10.2	Konzepterstellung „Back-End“ Prozesskette	89
10.2.1	Materialflussprozesse	89
10.2.2	Montagekonzepte und Montageprozesse	90
10.2.3	Konzepte und Prozesse der Qualitätsprüfung	104
10.2.4	Produktionsplanungs- und Steuerungskonzept	110
10.2.5	Unterstützungsprozesse	110
10.3	Entwurfsszenarien	110
10.4	Qualitätsanalyse	111
10.5	Statische Prozessplanung	115
10.6	Dynamische Prozessplanung	118
10.7	Produktivitätsanalyse	120
10.8	Ergonomieuntersuchung	126
11	Fabrikplanung	129
11.1	Fabriklayout- und Stationsplanung	129
11.1.1	Grobe Layoutpläne	129
11.1.2	Detaillierte Layoutpläne	131
11.2	Ressourcenplanung	132
12	Kosten- und Wirtschaftlichkeitsanalyse	143
12.1	Investitionsvergleich	143
12.2	Kostenvergleich	145
12.3	Kapitalwertvergleich	147
13	Szenario-Analyse	148
13.1	Szenario-Analyse „Front-End“	148
13.2	Szenario-Analyse „Back-End“	151
14	Zusammenfassung und Ausblick	153
	Anhang	160
	Glossar und Abkürzungen	268
	Literatur	276
	Verzeichnis betreuter Studienarbeiten	285
	Dank	286

1 Einleitung

Politische und wirtschaftliche Vertreter deutscher Forschungsministerien und der Hubschrauberhersteller Airbus Helicopters Deutschland (AHD), ehemals Eurocopter Deutschland (ECD), verfolgen das gemeinsame Interesse, moderne Methoden und Technologien zu fördern, um damit den Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken. Nach einer gemeinsamen Initiative der Firma Airbus Helicopters Deutschland und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) wurde zu Beginn des Jahres 2010 das Forschungsprojekt INSTRUKT (Förderkennzeichen 20W0908) ins Leben gerufen. Zeitgleich befanden sich bei Airbus Helicopters sogenannte „X“ Programme und zivile Hubschrauberprojekte in der Forschung und Entwicklung (F&E). Das Projekt INSTRUKT steht in erster Linie für „INtegrierte STRUKTur“ und trägt den Titel: „(Teil-) Automatisierte Fertigung von Faserverbundbauteilen für zivile Hubschrauber“. Mit INSTRUKT ist beabsichtigt, das Gewicht von H/C Strukturbauteilen durch integrale Bauweise um 10% und die Herstellkosten durch den Einsatz von innovativen Technologien und neuen (teil-) automatisierten Verfahren gegenüber herkömmlichen, zumeist manuellen Verfahren, um 30% zu reduzieren [1]. Unter vereinbarten Rahmenbedingungen zu INSTRUKT haben sich Wissenschaftler und Forschungsinstitute aus ganz Deutschland daran beteiligt, an automatisierten Verfahren zur Herstellung von Strukturbauteilen zu forschen, um damit die Produktqualität, Produktivität und wirtschaftliche Effizienz im Hubschrauberbau zu steigern. Neue automatisierte Verfahren werden demzufolge auf einen möglichen Einsatz und Anwendungsfall in der Herstellung von Strukturbauteilen geprüft, um neue Methoden und Prozesse abzuleiten. Dazu ist mit der Forschung das Ziel gesetzt worden, in optimierter Leichtbauweise möglichst kostengünstig Strukturbauteile aus Faserverbundwerkstoffen (FVW) herzustellen, um diese zu einem späteren Zeitpunkt in die Fertigung und Montage ziviler Hubschrauber zu integrieren. Um den wesentlichen Anforderungen von Strukturbauteilen gerecht zu werden, sind stets Lösungen für wirtschaftlich effiziente Produktionsprozesse sowie leichte und kostengünstige Materialien von hoher Qualität gesucht. Designer, Konstrukteure und Planungsmanager aus Produktion und Qualitätsicherung sind bestrebt, im Rahmen der Produkt- und Prozessplanung die Grenzen des technisch machbaren zu erforschen und gleichzeitig die hohen qualitativen Anforderungen umzusetzen. Mit der Einführung von neuen integrierten Systemlösungen sollen zukünftig vernetzte und schlanke Prozesse realisiert werden. Dabei ist die Entwicklung und Integration von weitestgehend automatisierten und zugleich flexiblen Arbeitssystemen in die Produktion vorgesehen, mit welchen eine große Teilevielfalt realisiert und eine Vielzahl unterschiedlicher Produktionswege erschlossen werden können.

Für eine durchgängig strukturierte und transparente Produktionsplanung in F&E bedarf es damit eines in sich schlüssigen Leitfadens, mit dem Produktionslösungen erarbeitet und realisiert werden können. Als absolutes Novum, war der Schwerpunkt dieser Arbeit, die Industrielle Planung für H/C Strukturbauteile aus Faserverbundwerkstoffen neu zu entwickeln.

Der daraus entstandene Leitfaden ist damit ein an die Integrierte Produktionsprogrammplanung für serielle Luftfahrtbauteile anknüpfender Ablaufplan, der in F&E von einer anfänglichen Strategie bis zum Produktionsprogramm zu einer ganzheitlichen Integrierten Produktionsprogrammplanung (IPP) ausgebaut wird. Im Ergebnis liegt dieser Arbeit ein neuer und ganzheitlicher IPP-Prozess für H/C Airframes zu Grunde. Darin eingeschlossen ist eine moderne Methodik zur Entwicklung und Bewertung von Produktionsszenarien auf Basis Integrierter Planungsprämissen der F&E für strukturelle Bauteile eines Hubschraubers. Mit der Produktionsplanung verbunden sind Vorgänge und Prozesse zum Materialfluss, die (teil-) automatisierte Fertigung, Montage

und die Qualitätskontrolle. Die relevanten Anforderungen an die Prozesse und Ressourcen dienen damit der Entwicklung von

- Konzepten,
- Entwurfsszenarien,
- Szenarien
- und/oder Programmen

zur (teil-) automatisierten Herstellung ziviler H/C Strukturbauteile.

Für vereinzelte Anforderungen bestehen unter anderem detaillierte Spezifikationen, auf welche in dieser Arbeit hingewiesen wird. Bei der Entwicklung des Integrierten Planungsprozesses für die F&E werden überwiegend Planungsaktivitäten aus dem Engineering behandelt.

Integrierte Planungsaktivitäten:

- Produktions-, Qualitäts- und Programmplanung
- Produkt- und Produktstrukturplanung
- Arbeits-, Prozess- und Fertigungsplanung
- Arbeitsvorbereitung, Prüf- und Versuchsplanung
- Fabrik-, Layout- und Stationsplanung
- Ressourcenplanung und Systemintegration
- Kosten- und Investitionsplanung

Dazu integriert diese Forschungsarbeit Aktivitäten der folgenden Planungsgruppen:

- Produktions-, Qualitäts- und Programmplaner
- Architekten, Designer, Konstrukteure und Produktplaner
- Arbeits-, Prozess- und Fertigungsplaner
- Arbeitsvorbereiter, Prüf- und Versuchsplaner
- Fabrik- und Werksplaner
- Ressourcenplaner und Systemintegratoren
- Controller, Investitions- und Kostenplaner

Der Planungsablauf des Integrierten Planungsprozesses wird dazu am Beispiel der Produktionsplanung zur (teil-) automatisierten Herstellung repräsentativer Strukturbauteile aus Faserverbundwerkstoffen im Unterbodensegment für zivile Hubschrauber aufgezeigt.

Der Ablaufplan wurde als Wegweiser für das F&E Projekt INSTRUKT entwickelt und unterstützte bei der Entscheidungsfindung durch Analysen und Bewertungen bei der Integration von neuartigen Fertigungsverfahren und Prozessen für die Produktion von Hubschrauberstrukturbauteilen.

Ferner integriert die moderne Planung die Entwicklung und Implementierung moderner digitaler Tool-Prozesse, welche zur Durchführung und Vernetzung von relevanten Planungsaktivitäten zur Anwendung kommen.

Nach einer anfänglichen Strategie erfolgte die Darstellung der Planungsergebnisse in Form von Fertigungskonzepten und Entwurfsszenarien. Es handelt sich dabei um einen umfassenden und systematisch aufgebauten Leitfaden zur Prozessplanung, der die Produktion von Helikopter-Strukturbauteilen mit Ihrem integrierten und automatisierten Ansatz durchaus revolutionär umzugestalten in der Lage ist.

2 Untersuchungsgegenstand

Auf der Suche nach einer wissenschaftlichen Logik zur Entwicklung und Validierung eines optimalen Produktionsprogrammes (siehe Kapitel 3 und 4) sind für die F&E stetige Verbesserungen und erstrebenswerte Produktionswege in Erfahrung zu bringen. Für eine moderne, qualitativ hochwertige und zugleich effiziente Produktion von Strukturbauteilen sind dazu Neuentwicklungen automatisierter Verfahren auf einen zukünftigen Einsatz und Anwendungsbereich zu prüfen. Es ist vorgesehen, für die Herstellung und Montage von H/C Strukturbauteilen weitestgehend automatisierte Produktionsabläufe und reproduzierbare Prozesse zu entwickeln (siehe Kapitel 5). Auf Basis von integrierten Planungsprämissen in F&E (siehe Kapitel 6), moderne Methoden und Tools (siehe Kapitel 7) und unter definierten Anforderungsmerkmalen (siehe Kapitel 8) ist nachzuweisen, welche der Bauweisen (integral oder differential) zur Herstellung von max. 100 H/C Strukturbauteilen pro Jahr über eine Planlaufzeit von 10 Jahren die beste Produktionsalternative darstellt. Die dabei auftretenden Randbedingungen sind zu berücksichtigen. Der Vergleich wird am Beispiel einer repräsentativen Teilestruktur in F&E festgemacht (siehe Kapitel 9). Damit bildet die Analyse von modernen (teil-) automatisierten Produktionslösungen zur Herstellung und Montage von H/C Strukturbauteilen einen wesentlichen Bestandteil dieser Forschungsarbeit. Dazu sind neuartige (teil-) automatisierte Produktionslösungen zu erforschen, gegenüberzustellen und zu bewerten (siehe Kapitel 10-12).

Zu vergleichen ist die nach gegenwärtigem Stand der Wissenschaft und Technik vorherrschende Produktion und Planung für serielle Strukturbauteile von zivilen Hubschraubern mit den aus heutiger Sicht unerforschten Produktionsalternativen in angestrebter Leichtbauweise. Die dabei untersuchten Kriterien sind spezifische Anforderungen an die Qualität der Produkte und Prozesse, Produktivität und Wirtschaftlichkeit, Flexibilität, ergonomische Aspekte und weitere spezifische Merkmale. An diesen ist letztlich auch die Bewertung und Analyse der Produktionsalternativen festzumachen (siehe Kapitel 13). Darüber hinaus ist mit dieser Forschungsarbeit beabsichtigt, einen Planungsprozess darzustellen, bei dem mit knappen Ressourcen an Personal, Budget und technischen Mitteln die Aufwendungen für integrierte Planungsaktivitäten zur Erstellung und Bewertung von Produktionsalternativen auf ein Optimum begrenzt werden (siehe Kapitel 3, 4 und 14). Dazu ist vorgesehen, dass über den Planungsverlauf vorgenommene Änderungen an Produktmerkmalen, Parametersätzen von Prozessen, Konstellationen von Maschinen und Anlagen sowie Datenverknüpfungen zu Produkten, Prozessen und Ressourcen (PPR) für eine strukturierte, vernetzte und moderne integrierte Produktionsplanung nachvollzogen werden können.

3 Stand der Wissenschaft und Technik

In der Zeit von 2012 bis 2014 hat für den größten Luft- und Raumfahrtkonzern Europas, ehemals EADS N.V., eine der größten Umwandlungen stattgefunden. Während in Europa Haushaltskürzungen für militärische Industriezweige vorgenommen wurden, lag die Herausforderung für CEO Dr. Thomas Enders darin die EADS in einen zukunftssträchtigen Konzern der AIRBUS Gruppe umzuwandeln. Das Schlagwort hierzu lautet:

„TRANSFORMATION“

Eines der wesentlichen strategischen Ziele ist es nun, unter dem neu geführten Namen Airbus wirtschaftliche Sparten zu erhalten und deren Effizienz zu steigern. Für Airbus Helicopters haben sich in F&E an und von Hubschraubern ebenfalls Änderungen ergeben. Nachdem über viele Jahre hinweg kaum eine Neuigkeit bei Hubschraubern angekündigt wurde, ist die Neuausrichtung von Airbus Helicopters mehr denn je auf die Entwicklung von neuen zivilen Hubschraubern und zahlreichen Forschungsprojekten fokussiert. Die vorherrschende Managementphilosophie im sich wandelnden Umfeld der Luft- und Raumfahrt orientiert sich an den folgenden Leitgedanken:

„Think LEAN“ – „Do KAIZEN“

Das Lean Management setzt als Wettbewerbsvorteil die Durchführung einer „nachhaltigen Entwicklung“ voraus und verfolgt diesen Ansatz über sämtliche Bereiche des „Ressource Managements“, des „Supply Chain Managements“ bis hin zu einer „Philosophie in der Produktion“. Das Lean-Prinzip basiert auf dem in der japanischen Industrie vorherrschenden Gedankengut und zeigt sich in beispielhaften Verhaltensweisen: „Die besten japanischen Unternehmen glauben, dass keine Wertschöpfung zustande kommt, wenn man nicht direkt an einem Produkt arbeitet, das tatsächlich für den Markt vorgesehen ist. Dabei sollte das Augenmerk auf das Produkt gerichtet werden, das der Verbraucher kaufen wird“ [2]. Die Wertschätzung der Japaner liegt damit weit höher auf den zu produzierenden Gütern als auf den Zielen des Individuums [3]. Zugleich werden Beiträge zum Teamerfolg stärker belohnt als fachlich glänzende Einzelleistungen [4]. Bisher waren Manager aus der Industrie bestrebt, die Philosophie des Lean Managements über kontinuierliche Verbesserungen, japanisch „KAIZEN“, auf die Entwicklung von Produkten, Produktion und Ressourcen zu übertragen und davon abgeleitete Ziele in die Tat umzusetzen. Allgemeine aus der KAIZEN Philosophie abgeleitete Ziele sind:

- Große Vielfalt an Produkten
- Null Fehler (Fehlervermeidung vor Fehlerbehebung)
- Kontinuierlich sinkende Kosten
- Einsparung an Arbeitszeit
- Weniger Entwicklungszeit
- Kaum Lagerbestände
- Einsparung an Produktionsfläche
- Weniger Investition in Werkzeuge
- Hohe Zuverlässigkeit
- Mehr Sicherheit
- Hohe Haltbarkeit

Mit dieser Philosophie steuert das funktionale Management von Airbus Helicopters die Planungsaktivitäten für Neuentwicklungen und Forschungsprojekte. Das funktionale Management in F&E untergliedert dazu folgende Bereiche:

- Customer & Sales
- Programm Management
- Projekt Management
- Produktentwicklung
- Produktion
- Einkauf
- Logistik & Support

Im industriellen Umfeld der Luftfahrt werden serientaugliche Hubschrauber oder für die Serienproduktion geplante Hubschrauber von einem Programm Management geführt. Das Programm Management des im Jahre 2014 größten Herstellers ziviler Hubschrauber, Airbus Helicopters, umfasst die Koordination und Führung von Teams und Aktivitäten, damit entsprechend gesetzte Ziele zur Lieferung von Produkten, Lösungen und Leistungen zu definierter Zeit, Qualität und nach vereinbartem Profit über den gesamten Lebenszyklus hinweg zur vollständigen Zufriedenheit der Kunden erfüllt werden [5].

Der Prozess zur "Programmleitung" steuert und kontrolliert die Programmaktivitäten, welche die Produktrealisierung, die Kosten und die Zeitvorgaben beeinflussen. Des Weiteren werden Abweichungen oder auch Risikopotentiale identifiziert, kontrolliert und entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet. Die Programmleitung umfasst dabei die technologische und betriebswirtschaftliche Bewertung von produktspezifischen Lösungen unter Berücksichtigung der Kosten und des Zeitplans, die Bereitstellung der benötigten Ressourcen, das Festlegen von Methoden der Produktionsbeschaffung sowie deren Validierung und Unterstützung und die Koordination der Serienproduktion. Der Programmleitung obliegen dabei die Kommunikation mit dem Kunden und die Kundenkontaktpflege [6].

Da das Programm Management der Luftfahrt darauf bedacht ist, die aus KAIZEN abgeleiteten Ziele umzusetzen, so sind für die F&E von Hubschraubern kontinuierliche Verbesserungen zur Integration von neuen Technologien, Verfahren und Vernetzung von Planungsgruppen und Planungsaktivitäten anzustreben, um zukünftige Unternehmungen zum Erfolg zu führen. Im Spannungsfeld konkurrierender Luftfahrtunternehmen muss dafür gesorgt werden, dass die Instanz zum Programm Management nicht nur die Programme der Serie, sondern auch die Planung in der F&E steuert, lenkt und überwacht. Die Programmleitung unterstützt dazu die Projektleitung für Neuentwicklungen. Mit den nach gegenwärtigem Stand vernetzten funktionalen Gruppen in der F&E von Strukturbauteilen sind für eine umfangreiche Produktionsplanung jedoch die Grenzen gewiesen, zumal von der Programmleitung kein detaillierter Anforderungskatalog für die Forschung an Produktionsalternativen und der damit verbundenen Produktionsplanung zur Verfügung steht. Für eine Analyse von Produktionslösungen sind die benötigten Programmanforderungen und Produktionsmerkmale zur Fertigung von Baugruppen und Strukturbauteile unzureichend. Dazu fehlt es an einem durchgängigen Programmleitfaden zur Untersuchung und Implementierung von Produktionsalternativen für die Herstellung von H/C Strukturbauteilen. Der hierfür benötigte Leitfaden ist eine Ergänzung um den Bereich der F&E zur integrierten Produktionsprogrammplanung der Firma Airbus.

Integrierte Serienproduktionsprogrammplanung

Die Integrierte Planung für Serienproduktionsprogramme ist eine Planung in einem Prozess, welcher für alle Beteiligten, Unterprozesse und betroffenen Organisationen den Zusammenschluss gewährleistet. Ziel ist die Untersuchung ökonomischer Aspekte und funktionaler Zusammenhänge, sowie der im Umfeld auftretenden Kosten und des Nutzens, um zur bestmöglichen Auswahl an alternativen Produktionsprogrammen zu gelangen und dafür geeignete Aktionen zu planen. Programm „Freigabe“ wird erteilt (in schriftlicher Form) von den Entscheidungsträgern der Programmleitung und ist entsprechend zu dokumentieren [7].

Anmerkung:

Das Produktionsprogramm umfasst die in Art und Menge gleicher oder unterschiedlichen Bauteile, die in einem bestimmten Zeitraum hergestellt werden.

Der Integrierte Planungsprozess für Serienprogramme von Luftfahrzeugen ist in der Abbildung 1 dargestellt.

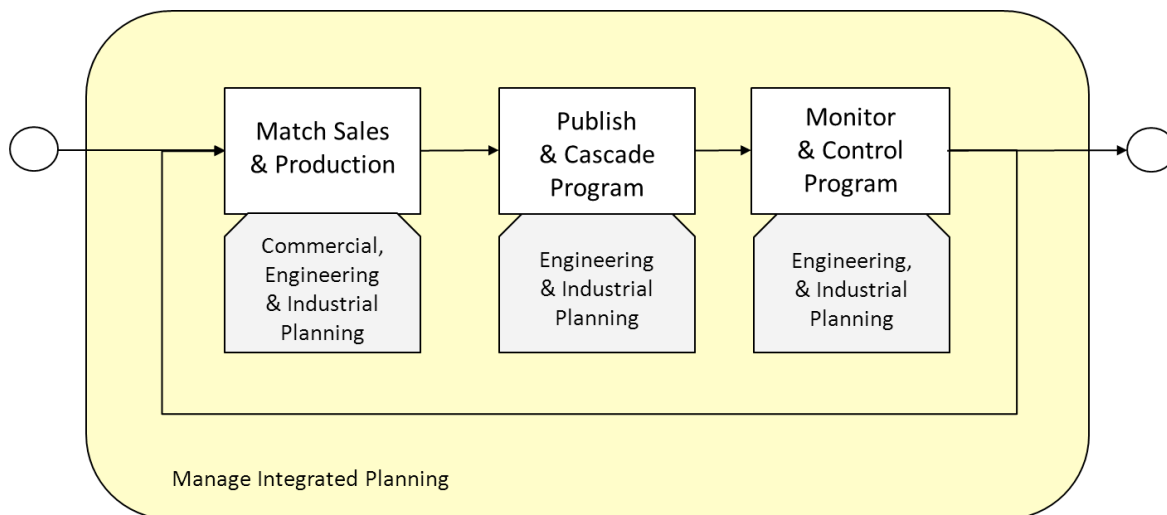


Abbildung 1 - Integrierter Planungsprozess für Serienproduktionsprogramme bei Airbus (vgl. [7])

Die Planungsprozesse der Serieproduktionsprogrammplanung bei Airbus sind im Folgenden erläutert (vgl. [7]):

A) „Match Sales and Production (Develop & Validate Program)“

Dieser Prozess beinhaltet alle Teilprozesse von der Anfrage an, um ein nach dem „Sales Production Management“ abgestimmtes Programm zu entwickeln und zu validieren. Eine Vielzahl von Szenarien sind daraufhin gemäß den industriellen Anforderungen von Integrierten Planungsmanagern zu planen und prüfen. Die Absicht dahinter ist einen bestmöglichen Kompromiss zu erzielen zwischen den vertraglichen Vereinbarungen, industriellen Anforderungen und strategischen Optionen.

In jedem Fall muss eines der folgenden Kriterien erfüllt sein:

- Vertragliche Vereinbarungen zur Lieferzeit
- Industrielle Kapazitäten
- Strategische Entscheidungen

B) „Publish & Cascade Program“

Nach dem „Program Go Ahead“ wird das „Neue Programm“ oder auch das „zugeordnete Programm“ veröffentlicht und hinsichtlich der zu erbringenden Lieferungen und Leistungen untergliedert bis herunter zur operativen Ebene.

C) „Monitor & Control Program“

In diesem Prozess wird der Planungsfortschritt rückblickend untersucht und in periodischen Zyklen überwacht. Dies beinhaltet das Einlenken, kontrollierte Steuern oder Einleiten von korrektiven Maßnahmen, wenn Abweichungen von gesetzten Terminen im Programm auftreten.

Dazu vereint die Integrierte Planung sämtliche industrielle Planungsaktivitäten (inklusive der Planung zur Endmontage – „Final Assembly Line (FAL)“, Aktivitäten für Luftfahrtzulassungen und der Wertschöpfungskette – Supply Chain), das Engineering für die Entwicklung (von Produkten, Prozessen und Ressourcen) und dem „Commercial Planning“ (darin eingeschlossen die Kundenkontaktpflege, das Produktionscontrolling und das Festlegen der Kundenanforderungen – „Customer Definition Freeze (CDF)“).

Die wesentlichen Planungsaktivitäten sind in Abbildung 2 illustriert.

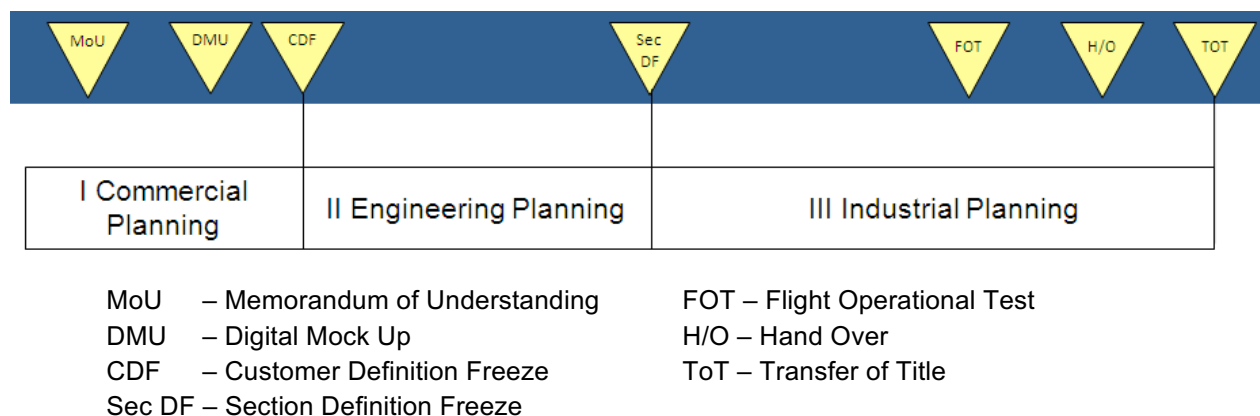


Abbildung 2 – Integrierte Planungselemente für Serienproduktionsprogramme bei Airbus (vgl. [7]).

Produktplanung

Über die Produktplanung und Analyse von Strukturbauteilen aus Faserverbundwerkstoffen im Unterbodensegment von Hubschraubern sind nur wenige Erkenntnisse vorzufinden. Mit Ausnahme des NH90 besteht keines der Frameworkstrukturen ziviler Hubschrauber in der Bodengruppe aus Faserverbundwerkstoffen [8].

Zudem werden derzeit sämtliche Frameworkstrukturen differential gefertigt. Das Framework des NH90 besteht dazu aus 10 Querträgern (Frames) und 4 Längsträgern (Longerons) welche mit weit über 1000 Nieten zusammengehalten werden. Hubschrauber aus dem zivilen Bereich von Airbus Helicopters verfügen im Unterbodensegment über eine aus Blechen vernietete innere Struktur. Die Bezeichnung der Designkomponenten der Bodengruppe basiert dabei auf Nummernstrukturen für Airframes von der „Aircraft European Contractors Manufacturers Association (AECMA)“. Was die Bezeichnung von Produktdaten für Faserverbundpreforms anbelangt, herrschen in der Fertigung zum Teil uneinheitliche Vorgehensweisen. Zumeist sind Produktstrukturdaten in der Teilefertigung von Preforms zu Sub-Preforms und dgl. nicht

vollkommen abgegrenzt. Bei Neuentwicklungen von Hubschrauberstrukturbauteilen werden die Strukturdaten und Stücklisten zumeist in einer „Virtuellen Produkt Management“ (VPM) Datenbank angelegt. Hinterlegt werden die technischen Zeichnungen für Bauteile und Lagenaufbauten meistens in digitaler Form mit dem Computer Aided Design (CAD).

Prozessplanung

In der Prozessplanung wird unterschieden hinsichtlich:

a) Prozess

DIN EN ISO 9000:2005: bezeichnet den Prozess als „Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingabe in Ergebnisse umwandelt“ [9].

Prozesse können sowohl von Personen (manuell) o.a. von Arbeitssystemen (maschinell) ausgeführt werden. Die Verantwortung für einen Prozess obliegt stets einer Person.

Bei entsprechender Komplexität ist es notwendig, verschiedene Ebenen der Prozesse zu definieren.

Ein Prozess kann damit weitere Vorgänge o.a. Instruktionen enthalten (siehe Abbildung 3).

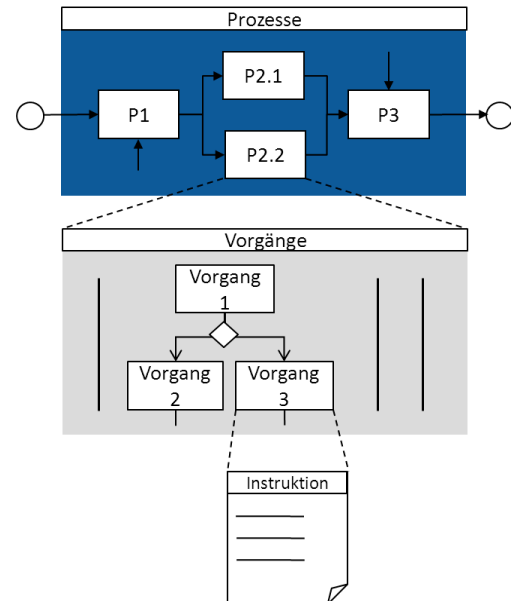


Abbildung 3 – Prozessgliederung

b) Vorgang

Der Vorgang beschreibt einen Ablauf und wie dieser im Prozess durchgeführt werden soll.

c) Instruktion

Eine Instruktion ist eine Handlungsanweisung, deren Notwendigkeit nach der Einschätzung zum Risiko bestimmt wird. Diese Handlungsweise kann bspw. für Personen als auch für Arbeitssysteme in Anspruch genommen werden.

Jede Produktionsprozessplanung in F&E entspricht anfänglich einem eigenen Entwurf o.a. Konzept. Neue Varianten für Produktgruppen, Materialflusspläne und Prozessketten der Produktion erfordern stets eine neue Planung. Aufgrund des hohen Planungsaufwandes sind deshalb nur eingeschränkte Versionen und eine begrenzte Variantenvielfalt zulässig. Mängel der Produktionsplanung sind Mehrfachbelegungen und/oder unausgelastete Maschinen und Anlagen. Darüber hinaus verfügen Fertigungsplaner oftmals nicht über Kompetenzen oder die Erfahrung zur Berechnung von Kapazitäten und Verfügbarkeiten, was zunehmend zur eigenständigen Prozessplanung o.a. Doppelarbeit führt.

Für eine strukturierte und transparente Arbeits- und Fertigungsplanung werden in der Entwicklung von Hubschraubern unterstützende Planungstools zur statischen Prozessplanung bisher nur in der Montage eingesetzt. In der Arbeitsvorbereitung und Arbeitsplanung zur Teilefertigung von H/C Strukturbauteilen sind neben einfachen Tabellenkalkulationsprogrammen bisher keine Prozessplanungstools im Einsatz. Ferner werden Fabrikplanungstools in F&E zumeist zur Untersuchung von ergonomischen Prinzipien, jedoch kaum zur dynamischen Produktionsplanung angewendet.

Ressourcenplanung

Die Ressourcenplanung zur Neuentwicklung von H/C Strukturbauteilen in F&E obliegt meistens einer Projektleitung, welche für das Projektteam alle notwendigen Ressourcen kontrolliert und überwacht. Bei der Planung von Ressourcen werden grundlegende Ressourcenarten voneinander abgegrenzt:

- Personal
- Anlagen- und Sachgüter
- Investitionen

Was die Planung von Anlagen und Sachgütern anbelangt, werden bislang im Hubschrauberbau nur grobe Einteilungen und Zuordnungen in sehr globale Kategorien für Bearbeitungs- oder Montagestationen vorgenommen. Eine detaillierte Zuordnung von Systemkomponenten in F&E besteht nicht [10].

Produktionsplanung

Im Hubschrauberbau bei Airbus Helicopters sind von der Produktionsplanung jegliche Prozesse für die Produktrealisierung in Übereinstimmung mit vorab definierten Anforderungen anderer Prozesse zu planen. Bei diesem Vorgehen werden Standards beschrieben und überwacht, nach denen Produktionspläne erstellt und darauf basierend Arbeitsaufträge freigegeben werden. Die wesentlichen Eingangsgrößen sind dabei die vertraglichen Verpflichtungen und die industrielle Machbarkeit. Das Ergebnis ist ein validierter Plan, der sowohl den Produktionsauftrag, die Produktionsfreigabe und eine ausgearbeitete Kapazitätsplanung enthält [6].

Die nach gegenwärtigem Stand der Technik in der Teilefertigung von H/C Strukturbauteilen vorherrschende Fertigungsorganisation verfolgt ein zentral ausgerichtetes Produktionsplanungs- und Steuerungssystem (PPS) gemäß dem Push-Prinzip. Nach diesem Prinzip wird ein zentral geplanter Auftrag in kleinere Einheiten o.a. Arbeitspakete zerlegt und in die Produktion überführt. Die Planung des zentralen Steuerungssystems basiert dazu auf zuvor abgeschätzten Verkaufszahlen. Dieses PPS eignet sich vor allem beim Serienanlauf, da hierbei die Vielzahl der Kundenwünsche und damit verbundenen Änderungen zumeist nicht eindeutig festzumachen sind. Um in einem länger andauernden Serienbetrieb zur Produktion einer großen Anzahl an Gleichteilen auf schwankende Nachfrage reagieren zu können, sind mit dem Push-Prinzip die Grenzen gewiesen. Eine ausgeglichene Belegung von Produktionseinheiten (PE) ist mit einer zentral gesteuerten PPS kaum mehr realisierbar. Problematisch sind dabei zum Teil unausgelastete und zeitweise überlastete Maschinen und Anlagen, was einerseits zu Lieferengpässen sowie andererseits zu hohen Beständen und zunehmender Kapitalbindung führt. Bei der traditionellen PPS entstehen zwischen Planung und Realisierungsphase oftmals Informationslücken. Das komplexe Abhängigkeitsverhältnis des Kunden und der zu produzierenden Einheiten bringt beim Push-System einen enormen Koordinationsaufwand mit sich. Die Abbildung 4 zeigt das schwer koordinierbare und traditionelle Push-Prinzip.

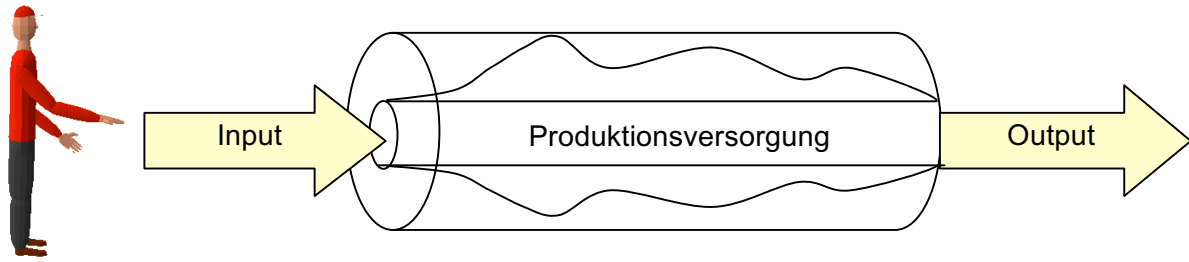


Abbildung 4 – Produktionsversorgung gemäß Push-Prinzip (nach [11])

Rechnungswesen

Häufig erfolgen Wirtschaftlichkeitsanalysen von Investitionsalternativen in F&E nur auf überschlägige Berechnungen von Material-, Fertigungs- und Herstellkosten. Eine ausgiebige Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird zumeist nur in der Serienfertigung mit unterstützenden Tools aus dem Rechnungswesen wie mit der System-Anwender-Software (SAP) durchgeführt. Für Produktionsanalysen besteht in der F&E von H/C Strukturbauteilen jedoch kaum ein durchgängiges Produktionscontrolling, zumal die Produktionsfaktoren der Prototypen zu denen von Serienbauteilen stark variieren [10].

Faserverbundtechnologie

Die Faserverbundtechnologie umfasst den sachgemäßen Einsatz und die Anwendung von Faser- und Matrixwerkstoffen zur Herstellung eines Werkstoffverbundes. Durch die Nachfrage nach immer leichteren und hoch belastbaren Materialien für Bauteile in der Luft- und Raumfahrt kommen insbesondere die Vorteile der Faserverbundeigenschaften zum Tragen. Gegenüber den häufig eingesetzten Werkstoffen wie Metallen liegen den Verbundwerkstoffen aus F&E aktuell allgemeine Erkenntnisse zu Grunde [vgl. 12]:

- Geringes Gewicht
- Hohe Festigkeiten und Steifigkeiten
- Gutes Impactverhalten
- Gutes Ermüdungsverhalten
- Gute Korrosionsbeständigkeit
- Geringe Wärmeausdehnung
- Gute Beständigkeit gegenüber anorganischen Medien
- Geringe Wärmeausdehnung
- Gute Formbarkeit
- Geringer Materialabfall

Um den bestehenden Anforderungen an Bauteilsicherheit und ökonomischen Effizienz gerecht zu werden, sind im Hubschrauberbau von Strukturbauteilen vorwiegend leichte Metalle, dünne Bleche und FVW vorzufinden. Hoch belastbare Strukturbauteile aus der Serienfertigung von Hubschraubern sind zu einem großen Anteil Faserverbundmaterialien. Von der Architektur und dem Design her bestehen dazu spezifische Vorgaben für die Bauteilkonzeption. Die Dimensionierung und Auslegung der Bauteile ist auf den jeweiligen Anwendungsbereich und die zugehörigen Sicherheitsklassen der Luftfahrtverordnung abzustimmen. Hierzu geht die Konstruktion der Bauteile mit der des Faserverbundes einher. Dazu bestimmen Faserdimensionierung, Faseranordnung, Faserorientierung, Lagenzahl, Faservolumengehalt, Matrixduk-

tilität, Grenzflächenhaftung, Beanspruchungsarten und andere physikalische Materialeigenschaften die Wahl des Faserverbundes für die Konstruktion. Aus diesen Erkenntnissen können klare Aussagen über Einsatzspektrum, Langzeit- und Verformungsverhalten getroffen werden [13]. Im Folgenden wird auf diejenigen Faserverbundwerkstoffe eingegangen, welche im Hubschrauberbau präsent sind. Die in der Teilefertigung von Hubschraubern eingesetzten Faserhalbzeuge sind Gewebe, Gelege und Tapes aus synthetischen Kohlenstoff-, Glas- und Aramidfasern. Dazu verwendete Fasertypen sind trockene und imprägnierte Faserhalbzeuge, sog. Prepregs. In der Serienfertigung angewandte Bettungsmassen sind Reaktionsharze auf Epoxidharz-Basis oder Poly Bismaleimid (BMI) für Hochtemperaturanwendungen wie beispielsweise im Hitzeschild des NH90. Weitere Einsatzmaterialien in der Teilefertigung und Montage sind Kleb- und Shimstoffe auf Epoxidbasis und/oder Polyurethan-Basis. Die Herstellung von Verbundbauteilen richtet sich dabei nach der Bauteilstruktur, Werkstoffverhalten und Qualität des Materialverbundes [14]. Zur Herstellung und Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen finden sehr spezielle, vorwiegend manuelle und teilautomatisierte Herstellungsverfahren Anwendung, welche in der allgemeinen Normenfamilie der Fertigungsverfahren (DIN 8580 [15]) nicht immer eindeutig zugewiesen werden können. Die meisten Fertigungsverfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoffen sind in der Hauptgruppe zum Urformen eingeordnet.

Automatisierungstechnik

Der Begriff der Automatisierungstechnik (Automation) ist zurückzuführen auf den Spanier Torres y Quevedo. Er entwickelte 1913 u.a. eine allgemeine Theorie der Ablaufsteuerung, welche für industrielle Prozesse bestimmt war [16]. Teilautomatisierte Arbeitssysteme hatten erst sehr viel später, zum Ende der 70er Jahre, in vereinzelten Bereichen der Luftfahrtindustrie Einzug gefunden. Selbst im Hubschrauberbau hat die Einführung von automatisierten Arbeitssystemen zur Herstellung und Montage von Faserverbundbauteilen nicht halt gemacht. Nach derzeitigem Stand angewandte (teil-) automatisierte Arbeitssysteme sind computer- numerisch gesteuerte (CNC) Bearbeitungszentren zum Trennen von Halbzeugen und spanender Bearbeitung, Industrieroboter zum Bohren und Nieten und vollautomatische Pressen in der Teilefertigung. Der Automatisierungsgrad in der Teilefertigung von H/C Strukturbauteilen liegt Ingenieuren von Airbus Helicopters zu Folge bei weniger als 20% und in der Montage unterhalb von 50%. Seit der Einführung der Industrieroboter Mitte der 50er Jahre ist ein stetiges Wachstum und ein zunehmender Einsatz der Roboter in sämtlichen Branchen erkennbar. Nach einer Studie zum Thema: „World Robotics (2013) – Industrieroboter“ liegt die Einschätzung des IFR in Frankfurt zum Einsatz von Robotern für 2015 bei weltweit 1,5 Millionen Stück [17].

Fertigungs- und Montageverfahren

In der DIN 8580 [15] sind die Fertigungsverfahren in Deutschland untergliedert. Die in der Teilefertigung und Montage von Strukturbauteilen aus FVW angewandten Fertigungs- und Montagetechniken für zivile Hubschrauber sind im Folgenden erläutert.

A) Trennverfahren

Faserlagen und Kernmaterialien im Hubschrauberbau werden gegenwärtig mit einer Werkzeugschneide zugeschnitten. Für den Grobzuschnitt der Kernmaterialien werden häufig Schneidmesser für Wabenkernwerkstoffe und eine Bandsäge für Schaumkernwerkstoffe eingesetzt. Auf Endmaß werden die ausgehärteten Bauteile und Kernwerkstoffe zumeist mit einem

computergesteuerten numerischen (CNC) Bearbeitungszentrum gefräst. Carbon faserverstärkte (CFK) Antriebswellen für H/C Heckrotoren werden hingegen mit einer Drehmaschine spanend bearbeitet. Bei Außenbeplankungen von Hubschraubern werden die Passbohrungen für Nieten vollautomatisch mit Roboter und Bohrkopf umgesetzt. Sofern keine Zugänglichkeit mit dem Roboter gegeben ist, müssen die Bohrungen von Hand gesetzt werden. Die Nachbearbeitung der Oberflächen und Schnittkanten erfolgt manuell mit Schleifpapier unterschiedlichster Körnung.

B) Manuelle Drapiertechnik

Beim manuellen Drapieren werden Faserflächengebilde wie Prepregs oder auch bebinderte Faserlagen durch Andrücken von Hand o.a. mit einem Werkzeug in Form gebracht. Mit dieser Technik lassen sich sog. Vorförmlinge von Strukturbauteilen herstellen. Abbildung 5 zeigt beispielhaft die manuelle Drapiertechnik zur Herstellung von Preformstrukturen in der Rotorblattfertigung.



Abbildung 5 – Manuelle Drapiertechnik in der Rotorblattfertigung [18]

Das Anhaften und/oder Vernetzen trocken bebindeter Faserhalbzeuge kann dabei unter Wärme mit einem Heizstrahler o.a. mit einem manuell geführten Heißbügeleisen erfolgen. Vor- und Nachteile der manuellen Drapiertechnik sind wie folgt:

Vorteile

- Unterschiedliche Dimensionen von Halbzeugen realisierbar
- Hinterschneidungen möglich
- Geringer Investitionsbedarf
- Wirtschaftlich bei niedrigen Stückzahlen
- Gute Anpassungsflexibilität der Halbzeuge an das Werkzeug
- Einfache Handhabung der Halbzeuge
- Kein Wartungsaufwand erforderlich

Nachteile

- Eingeschränkte Reproduzierbarkeit
- Hohe Aufwendungen zum Bestücken von Formwerkzeug
- Ungleichmäßige Wärmezufuhr
- Unwirtschaftlich bei hohen Stückzahlen
- Hoher Bearbeitungsaufwand
- Schwer automatisierbar

Über den Einsatz von vollautomatischen Legeverfahren zur Herstellung von H/C Strukturbauteilen ist bisher nichts bekannt.

C) Diaphragma Umformverfahren

Mit dem Diaphragma Umformverfahren werden Halbzeuge in sog. Diaphragmasolarien umgeformt. Ein Umformwerkzeug wird auf einem Umformtisch positioniert, die Faserhalbzeuge eingelegt und mit einer Membran von der Atmosphäre evakuiert. Über Wärmestrahler wird die erforderliche Umformtemperatur in den Laminataufbau geleitet. Daraufhin findet die eigentliche Umformung statt. Die Abbildungen 6-9 zeigen den Verfahrensablauf zum Diaphragma Umformverfahren.

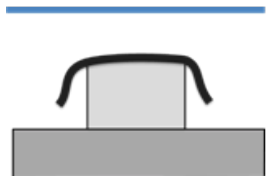


Abbildung 6 - Werkzeug bestücken



Abbildung 7 - Vakuumdruck aufbringen



Abbildung 8 - Umformen unter Wärmestrahlung

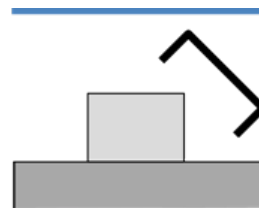


Abbildung 9 - Bauteil entformen

Je nachdem ob die Umformung im Diaphragmasolarium mit einer oder mit zwei Membranschichten erfolgt, wird in „Doppel“ oder „Single Diaphragma“ (SD) unterschieden. In der F&E werden zum Umformen von Preformlagen gegenwärtig Umformtisch und Infrarotstrahler verwendet. In der Serienfertigung von Traglenkern für Türen von Airbus wird beim Diaphragma die Wärme über einen Ofen erzeugt. Bisher sind Anwendungen im Hubschrauberbau nur bei Kompaktierungen wie bspw. bei der Rotorblattfertigung jedoch nicht zum Preforming vorzufinden. Im Folgenden sind die Vor- und Nachteile zum Diaphragmaverfahren dargelegt (vgl. [19]).

Vorteile

- Hohe Prozessstabilität
- Hohe Produktqualität
- Unterschiedliche Dimensionen von Halbzeugen realisierbar
- Hinterschneidungen möglich
- Hohe Automatisierbarkeit
- Gute Reproduzierbarkeit
- Gleichmäßige Druckverteilung über das gesamte Bauteil
- Gute Oberflächengüte
- Wenig Aufwand zur Nachbearbeitung

Nachteile

- Hohe Investitionskosten für Anlage und Formwerkzeug
- Eingeschränkte Verwendung von Einsatzstoffen
- Bauteile auf Größe der Anlage und Formwerkzeug beschränkt
- Hohe Aufwendungen zum Bestücken von Formwerkzeug
- Ungleichmäßige Wärmezufuhr
- Hoher Energieverbrauch
- Hoher Wartungsaufwand

D) RTM-Verfahren

Das Resin Transfer Moulding (RTM) Verfahren ist ein Nasslaminierverfahren. Mit dem RTM Verfahren wird ein aufbereitetes Harzsystem in das Fasermaterial eingebettet. Zunächst wird das Fasermaterial jedoch innerhalb eines Formwerkzeuges abgelegt. Über eine am Formwerkzeug angeschlossene Vakuumpumpe wird der Lagenaufbau verdichtet und die Kavität im Laminat beseitigt. Zum Ansaugen des Harzes bzw. des Harz/Härter Gemisches wird je nach Anforderung ein Unterdruck oder Überdruck erzeugt. Über entsprechende Leitungen wird das Harzsystem aus einem Reaktionsgefäß in das Formwerkzeug geleitet. Das erzeugte Laminat o.a. Bauteil kann dann sowohl im kalten als auch im warmen Zustand aushärten [20]. Der RTM-Verfahrensablauf ist in den Abbildungen 10-13 schematisch dargestellt.

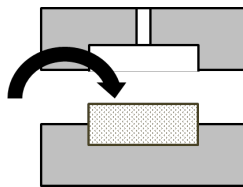


Abbildung 10 - Werkzeug bestücken

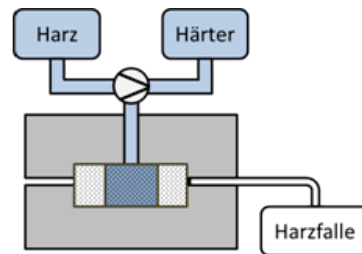


Abbildung 11 - Injektion unter Druck und Vakuum

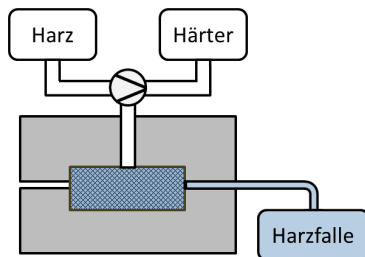


Abbildung 12 - Bauteil Aushärten unter Nachdruck

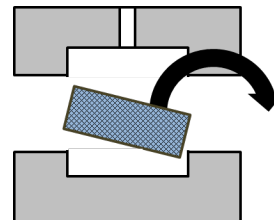


Abbildung 13 - Bauteil Ausbauen

Grundsätzlich ist das RTM-Verfahren ein in der Luftfahrt häufig angewandtes Verfahren zur Herstellung von porenfreien Strukturbauteilen und Hohlkörpern. Verglichen mit anderen Laminierverfahren sind die Investitionsaufwendungen für Formmulde und Werkzeuge relativ hoch, jedoch wirtschaftlich bei großen Stückzahlen. Weitere Vor- und Nachteile sind nachfolgend aufgeführt (vgl. [20]).

Vorteile

- Realisierung von Differential- und Integralbauteilen
- Geeignet für hohle Formkörper
- Gute Maßhaltigkeit
- Gute Reproduzierbarkeit
- Hohe Formgenauigkeit
- Gute Oberflächengüte
- Geeignet für mittlere Stückzahlen

Nachteile

- Hohe Investitionen für Anlage und Formwerkzeug bei hohen Injektionsdrücken
- Bauteile auf Größe der Anlage und Formwerkzeug beschränkt
- Undurchsichtiger Imprägniervorgang
- Lange Zykluszeiten
- Geringe Materialdurchsätze
- Hoher Energieverbrauch
- Gefahr des „fiber washing“ bei hohen Injektionsdrücken

Die RTM-Fertigung der integralen Gesamtstruktur der Frameworks wurde bisher nicht untersucht [21].

E) Prepreg-Autoklavverfahren

Bei diesem Verfahren werden imprägnierte Faserhalbzeuge (Prepregs) auf einem Formwerkzeug abgelegt und in einem Autoklaven unter Druck und Temperatur ausgehärtet. Die Halbzeuge werden entsprechend einem Legeplan auf dem Formwerkzeug aufgebaut. Der Ablegevorgang kann grundsätzlich manuell, halbmechanisch o.a. vollautomatisch mit sog. Tapelegemaschinen erfolgen. Beim Aufbau des Formwerkzeugs werden neben den Prepreglagen, Sauggewebe, Breather und Vakuumfolie benötigt. Das Sauggewebe dient zur Aufnahme von Harzüberschuss der lösungsmittelhaltigen Prepregs. Der Breather ist eine luftführende Schicht, die sicherstellt, dass das Vakuum am gesamten Bauteil anliegt. Der Aushärtvorgang erfolgt im Autoklaven je nach Matrix bei einem Druck von 3-10 bar und einer Temperatur von 125° bis 180°C [20]. Abbildung 14 zeigt eine Prinzipskizze zum Autoklavverfahren.

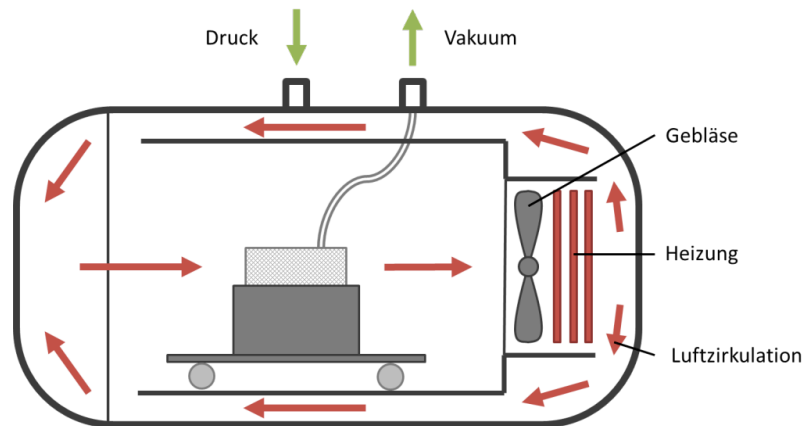


Abbildung 14 - Prinzipskizze zum Autoklavverfahren (nach [20])

Faserverbundstrukturen bei zivilen Hubschraubern werden aufgrund der niedrigen Stückzahlen überwiegend im Prepreg-Autoklavverfahren hergestellt. Die wesentlichen Vor- und Nachteile dieses Verfahrens sind im Folgenden erläutert (vgl. [20,22]).

Vorteile

- Realisierung von Integral- und Differentialbauteilen
- Gute Maßhaltigkeit
- Gute Reproduzierbarkeit
- Gute Oberflächengüte
- Geringe Nachbearbeitung
- Wenig Materialabfall

Nachteile

- Hohe Investitionskosten für Anlage und Formwerkzeuge
- Bauteile auf Größe der Anlage beschränkt
- Lange Zykluszeiten
- Geringe Stückzahlen
- Hohe Aufwendungen zum Bestücken von Formwerkzeug
- Eingeschränkte Lagerfähigkeit der Prepregmaterialien
- Hoher Energieverbrauch

F) Verfahren zur Oberflächenvorbehandlung

Die Oberfläche der Fügestellen zum Kleben und Shimmen sowie die Lackieroberflächen von Faserverbundstrukturen werden gegenwärtig manuell mit Schleifmaschine und Schleifpapier unterschiedlichster Körnung aktiviert.

G) Verbindungs- und Montagetechniken

Im Allgemeinen versteht sich unter der Verbindungstechnik der technische Zusammenhalt von Einzelteilen, wobei die Verbindung als lösbar oder unlösbar realisiert werden kann. Nach dem physikalischen Wirkprinzip unterscheiden sich Verbindungen hinsichtlich dem Formschluss, dem Kraftschluss oder dem Stoffschluss.

DIN 8593-0: behandelt dazu Fertigungsverfahren der Hauptgruppe zum Fügen [23].

Grundsätzlich dürfen in der Luftfahrt nur gekennzeichnete Verbindungselemente mit Luftfahrtzulassung eingesetzt werden. Die zum Fügen von H/C Strukturbauteilen angewandten Verbindungstechniken sind im Folgenden erläutert.

a) Nietverbindungen

Beim Nieten wird der Formschluss durch Umformen erzielt. Nietverbindungen sind nicht lösbare Verbindungen, welche nur durch Beschädigung oder Zerstörung der gefügten Teile wieder gelöst werden [24]. Bei der konstruktiven Auslegung von Nietverbindungen sind je nach Werkstoff und Lastfall, Lochleibung und Abscherspannung zu prüfen, während ein Kopfzug konstruktiv zu vermeiden ist. Die für zivile Hubschrauber eingesetzten Nieten sind:

- Passnieten zur Verbindung von hochbeanspruchten Strukturbauteilen
- Blindnieten für Verbindungslaschen von Rumpfsektionen
- Hohnieten zum Anbinden von Anniutmuttern
- Vollnieten ausschließlich für metallische Fügungen

Im zivilen Hubschrauberbau werden bisher sämtliche Nieten manuell gesetzt. Metallische Strukturbauteile werden in der Luftfahrt zunehmend automatisiert mit Robotern vernietet. Beim vollautomatischen Nieten werden Blind-/ Passnieten bevorzugt, sofern diese wirtschaftlich sind.

b) Schraubenverbindungen

Die statisch konstruktive Auslegung von Schraubenverbindungen basiert auf Lochleibung, Abscherung und gegebenenfalls Kopfzug.

VDI 2230 Blatt 1: behandelt die „Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen zylindrischer Einschraubenverbindungen [25].“

Für die Auslegung von Schraubenverbindungen bei Hubschraubern gelten die Berechnungsgrundlagen für Schraubenverbindungen nach dem Handbuch Strukturberechnung [26]. Zulässige Gewinde von Schrauben in der Luftfahrt sind gerollte Gewinde. Im Hubschrauberbau werden Schrauben hauptsächlich zum Befestigen von Beschlägen eingesetzt. Zur Verbindung von Strukturbauteilen werden Schrauben mit einem Drehmomentschlüssel angezogen.

c) Shimmtechnik

Der Spaltausgleich von Fügetoleranzen wird in der Luftfahrt mit einer Ausgleichsmasse und der Shimmtechnik umgesetzt. In Abhängigkeit der Fügespaltstärke wird zum Spaltausgleich ein flüssiger oder harter Shimmstoff verwendet. Die Technik beim Shimmen wird für die jeweiligen H/C Programme in Form von Fertigungsvorschriften festgelegt.

Mess- und Prüftechnik

Die Prüf- und Messtechnik ist maßgeblich bestimmt durch Sicherheitsklassifizierung der Bauteile. Die Produktqualität und die Reproduzierbarkeit in der Fertigung von Strukturbauteilen sind nur mit einem umfangreichen Qualitätswesen und durch aufwendige Dokumentation gewährleistet. Häufig entstehen vermeidbare Fehler durch manuelle Tätigkeiten. Die Einsatzmaterialien und die Bauteiloberflächen werden von der Qualitätskontrolle zumeist auf Sicht geprüft. Bei der Herstellung der Bauteile werden Prozessparameter wie bspw. Temperatur und Druck mit Prüf- und Messsystemen aufgezeichnet. Die nach Bearbeitung entstandenen Strukturbauteile werden stets in Dimension und Gewicht gemessen. Letzteres erfolgt mit einer Federwaage. Für Strukturbauteile ab Sicherheitsklasse 2 werden die inneren Strukturen zerstörungsfrei unter Verwendung von Ultraschallverfahren oder mittels Computertomographie analysiert. In der Montage von Strukturbauteilen auftretende Fügemaße werden bisher manuell gemessen und kontrolliert. Hierfür werden die Fügeoberflächen zunächst mit einem Dichtband abgeklebt, auf welches eine Ausgleichsmasse (Shimstoff) aufgebracht wird. Daraufhin werden die Fügeteile mechanisch angepresst und der zwischen dem Klebeband entstandene Spalt wird vom Werker mit Lehren und Normen gemessen.

Bauweisen

Der Begriff der Bauweise lässt sich beschreiben durch die festgelegte konstruktive Anordnung von Bauteilen zu einer vereinten Struktur o.a. Baugruppe [20]. Nach Aussage von Experten aus dem Engineering von Airbus Helicopters sind die momentan in der Serie vorherrschenden Bauweisen von Strukturkomponenten im Hubschrauberbau die Faserverbundbauweise, Metallbauweise, Mischbauweise, Sandwichbauweise, Monolithische Bauweise und Schlauchbauweise [27]. Diese Bauweisen können entweder in integraler oder in differentialer Bauweise ausgeführt werden (siehe Abbildungen 15 und 16).

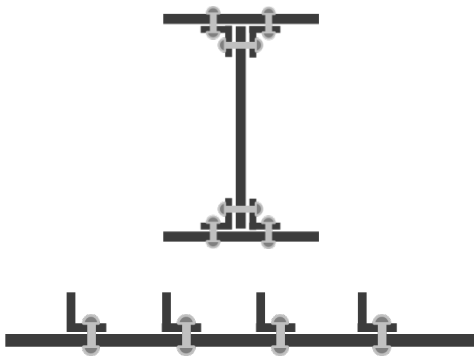


Abbildung 15 - Prinzip der differentialen Bauweise: Doppel T-Träger vernietet (oben), Platte versteift und vernietet mit Rippen (unten).

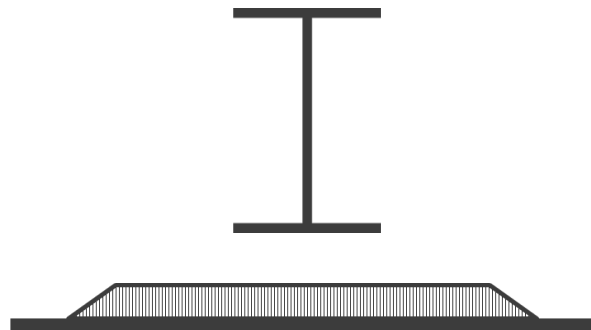


Abbildung 16 - Prinzip der integralen Bauweise: Doppel T-Träger (oben), Platte versteift mit Sandwich (unten).

Die Vor- und Nachteile von integraler im Vergleich zu differentialer Bauweise sind folglich aufgeführt.

Vorteile

- Leichte Bauweise
- Wenige Arbeitsgänge erforderlich
- Niedriger Konstruktionsaufwand für Verbindungen
- Gute Oberflächen, da Nietköpfe entfallen
- Hoher Zusammenhalt sowie große Dauerfestigkeit der Integralbauteile

Nachteile

- Hoher Investitionsbedarf für Maschinen, Anlagen und Werkzeug
- Zumeist nur gleichartiger Materialeinsatz
- Eingeschränkte Reparaturmöglichkeiten
- Hohes Schädigungsverhalten

Die vorteilhaften Eigenschaften der Sandwichbauweise sind (vgl. [27]):

- Versteifung von Panelen
- Reduktion des Bauteilgewichts
- Wärme- und Schalldämmung
- Impact- und Splitterschutz
- Brand- und Feuerschutz

Um Kosten und Gewicht einzusparen, zeichnet sich ein zunehmender Trend ab, Strukturen in der Luftfahrt integral zu fertigen. Seit 2010 werden beispielsweise die Innenmodule der Flugzeugsüren von Airbus aus FVW in einem Stück gefertigt. Hingegen führt die häufig angewandte Differentialbauweise aufgrund der Vielzahl an Fügstellen, welche durch Nieten zusammengehalten werden, zu vielen Arbeitsschritten und damit verbunden zu höheren Montagekosten.

In der Fertigung von Strukturbauteilen im Unterboden ziviler Hubschrauber hat sich die Integralbauweise bisher nicht durchgesetzt. Die innere Struktur der Bodengruppe von zivilen Hubschraubern bei Airbus ist gegenwärtig in differentialer Metallbauweise ausgeführt. Das Framework des militärischen Hubschraubers NH90 wird in differentialer Faserverbundbauweise realisiert.

4 Integrierte Produktions-Programmplanung in F&E

Die Integrierte Produktions-Programmplanung (IPP) in F&E ist ein erarbeiteter Leitfaden für die Entwicklung und Auswahl von Produktionsalternativen, welche von einem Integrierten Planungsnetzwerk gelenkt und überwacht werden sollen. Die Planung von Produktionsalternativen in F&E ist geprägt von

- Vernetzten Planungsaktivitäten
- Integrierten Planungsprämissen
- Integrierten Prozess- und Fabrikplanungstools
- Kombinationen von Technologien und Verfahren
- Vielzahl an Versionen und einem breiten Teilespektrum
- Zahlreichen Prozessabfolgen oder auch Prozessketten
- Art und Anordnung von Ressourcen

Die Leistungen aus der Integrierten Produktionsprogrammplanung in F&E umfassen die Festlegung von Strategien und die Entwicklungen zur Vorbereitung und Freigabe von Konzepten und Entwurfsszenarien.

Anmerkung:

Konzepte beinhalten die vorab getroffenen Randbedingungen zur Erstellung von Entwürfen und Szenarien. Ein Entwurfsszenario, dessen Machbarkeit nachgewiesen ist, wird als Szenario bezeichnet [7].

4.1 Integrierter Planungsprozess in F&E

Die F&E von Produktionsalternativen basiert auf einer strukturierten Ablaufplanung, dem sog. Integrierten Programmplanungsprozess in F&E (siehe Abbildung 17).

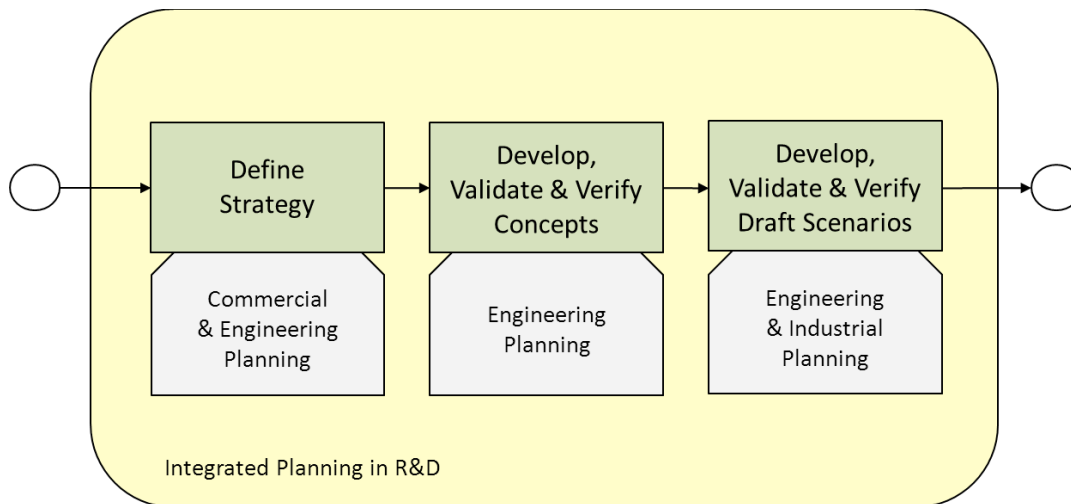


Abbildung 17 - Integrierter Planungsprozess in F&E von Produktionsalternativen

A) Define Strategy

Zu Beginn der Integrierten Planung für Produktionsprogramme der H/C Strukturbauteile in F&E werden die Ziele der Entwicklung von Produktionsalternativen in einer Strategie festgelegt. Mit dem Bestreben nach kontinuierlichen Verbesserungen an H/C Strukturbauteilen sind aus der KAIZEN Philosophie abgeleitete Ziele in der Strategieentwicklung zu berücksichtigen. Die Ziele in der F&E zu und von H/C Strukturbauteilen sind:

- Erforschung von innovativen Fertigungstechnologien und Verfahren
- Fördern Integraler Bauweisen
- Verbesserung von Material- und Produkteigenschaften (Steifigkeit, Festigkeit, Anbindung etc.)
- Entwicklung effizienter automatisierter Prozesse
- Verbessern von Daten- und Informationsflüssen
- Senken der Stück- und Herstellkosten
- Reduktion von Gewicht
- Einführung und Integration von flexiblen Fertigungssystemen
- Steigerung der Funktionalitäten von Ressourcen
- Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Arbeitssystemen
- Verbesserung der Ergonomie von Arbeitsabläufen

B) Develop, Validate & Verify Concepts

Auf Basis von ausgewählten Fertigungsverfahren sind notwendige Fertigungsprozesse und Ressourcen abzuleiten. Prozessketten, Ressourcenpläne und Fabriklayout zur Bestimmung der Produktionsalternativen sollten möglichst mit einfachen Objekten dargestellt werden. Bereits in der Entwurfsphase von Fertigungskonzepten ist es empfehlenswert, Simulations- und Planungsmodelle zu erzeugen. Für die Darstellung von Prozessketten ist es hilfreich, eine Software mit freiformenden Objekten zu verwenden. Grund dafür ist, dass vor allem in der Konzeptphase die Aufwendungen für etwaige Änderungen relativ hoch ausfallen. Sehr zum Vorteil der Planung bietet es sich an, sequenzielle Prozesse und Kinematik mit den Methoden der digitalen Fabrik darzustellen. Dazu sollte der Planer abwägen, ob er bereits in der Konzeptplanung die Dynamik der Prozesse in Erfahrung bringen möchte und inwieweit er sich dadurch einen Vorteil verschafft. Zudem sind die notwendigen Prozessverknüpfungen zu den jeweiligen Produkten und Ressourcen aufzuzeigen. Zu Beginn der Ansammlung prozessrelevanter Daten ist es erstrebenswert, einfache Rechenmodelle zu verwenden. Neue und moderne Verfahren sollten bereits während der Konzeptentwicklung auf einen exemplarischen Anwendungsfall geprüft werden. Nach vollendeten Konzeptentwürfen erfolgt eine Bewertung seitens aller Beteiligten der Planungsgruppen. Bei der Konzeptbewertung werden grundlegende Stärken und Schwächen betrachtet, woraufhin eine Einschätzung über die Möglichkeiten zur Realisierung getroffen wird.

C) Develop, Validate & Verify Draft Scenarios

Beim Erstellen von Entwurfsszenarien werden zuvor ausgewählte Konzepte näher analysiert. Dazu werden die erforschten Prozessketten, Prozesse und Vorgänge mit den Produkten und Ressourcen verknüpft. In der Entwurfsphase lassen sich zumeist verschiedene Anwendungsfälle und Varianten vergleichen. Spezifische Produktionsparameter werden aus vorhandenen Fertigungsplänen entnommen oder im Rahmen von experimentellen Untersuchungen ausgearbeitet und bei der Planung von Entwurfsszenarien berücksichtigt.

Für die Prozessplanung der Entwurfsszenarien ist es erstrebenswert, eine Software zur Gestaltung von PPR-Datenmodellen anzuwenden. Mit der Unterstützung von sowohl statischen als auch dynamischen Planungstools aus dem Bereich der digitalen Fabrikplanung wird der Planungsvorgang erheblich erleichtert. Organisiert angelegte Datenstrukturen sind sehr zum Vorteil der Qualität.

Im Anschluss an die Entwicklung der Entwurfsszenarien erfolgt eine Bewertung und Analyse. Bei diesem Vorgehen wird aus zahlreichen Entwurfsszenarien mit unterschiedlichen Varianten ein ausgewählter Entwurf validiert, verifiziert und zum Szenario erklärt.

Im Rahmen der Szenarioanalyse sind innovative Entwurfsszenarien den alternativen Produktionsszenarien gegenüberzustellen. Dazu werden zuvor definierte Untersuchungskriterien o.a. Anforderungsmerkmale der Szenarien untersucht, untereinander verglichen und bewertet. Im Hinblick auf die Einführung eines ausgewählten Produktionsszenarios ist im Rahmen der Analyse eine Einschätzung über die möglichen Risiken zu treffen.

4.2 Integriertes Planungsnetzwerk

Das Integrierte Planungsnetzwerk der Programmplanung in F&E (siehe Abbildung 18) vereint Organisationen und integrierte Planungsaktivitäten für Forschungszwecke.

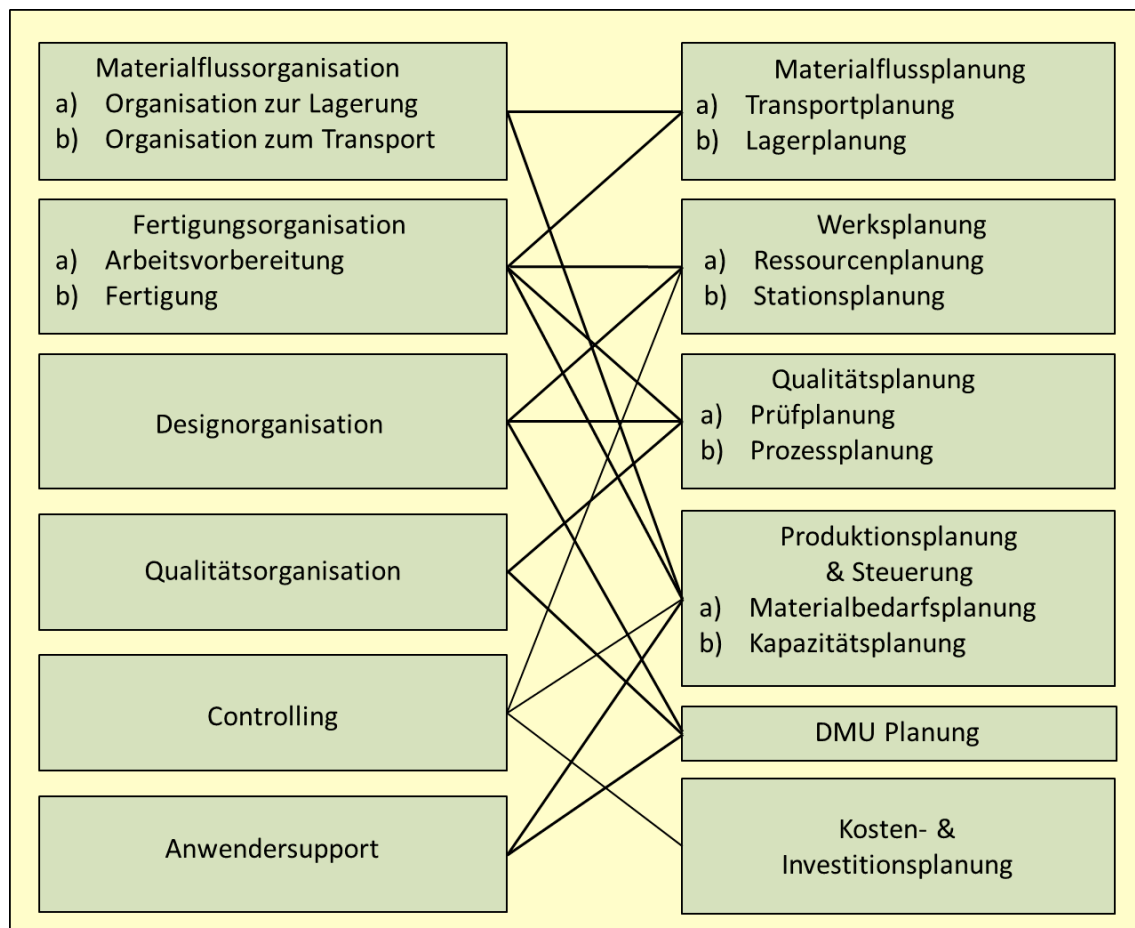


Abbildung 18 – Integriertes Planungsnetzwerk in F&E

Für die IPP in F&E relevante Organisationen zum Materialfluss sind nachfolgend erläutert.

Materialflussorganisation

Die Materialflussorganisation in der F&E integriert die Organisation von Lagerung und Transport.

a) Organisation zur Lagerung

Die Organisation der Lagerung übernimmt die Aufgaben zur Lagerplanung und unterstützt bei der Produktionsplanung durch Auslegung von Zwischenlager- und Liegeflächen. Sie besteht aus einer Verwaltung, einem Verantwortlichen und zugehörigen Lagermitarbeitern.

b) Organisation zum Transport

Die Organisation des Transports wird geführt von einem Transportverantwortlichen und führt Personen wie Transportkräfte. Die Transportorganisation ist zuständig für die Transportplanung und legt Transportzeiten im Rahmen der Produktionsplanung und Steuerung fest. Sie muss sicherstellen, dass die Versorgung der Strukturbauteile zur richtigen Zeit, an richtigen Ort und Stelle sowie nach vereinbarter Qualität durchgeführt wird.

Fertigungsorganisation

Aufgrund der Ansprüche an eine vom Markt getriebene Produktion ist die Fertigungsorganisation bestrebt, kürzere Entwicklungs- und Produktionszyklen bei gleichzeitig steigenden Produktanforderungen und zunehmend komplexer Teilevielfalt umzusetzen. Die Fertigungsorganisation setzt sich zusammen aus der Arbeitsvorbereitung und Fertigung.

a) Arbeitsvorbereitung

Die Arbeitsvorbereitung gemäß REFA-Definition ist gegliedert in die Bereiche der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung [28], im folgenden PPS genannt. Die Arbeitsvorbereitung der IPP in F&E ist eine Gruppe von Arbeitsplanern, welche bei der Planung des Materialflusses, der Werksplanung, der Qualitätsplanung und der PPS mitwirkt.

Zu den unterstützenden Aufgaben der Arbeitsvorbereitung gehören:

- Verwaltung von Strukturdaten
- Erstellung von Arbeitsplänen
- Terminierung und Zeitplanung
- Programmierung
- Prüfplanung
- Materialbedarfsplanung

Die Arbeitsvorbereitung ist zuständig für die Erstellung aller erforderlichen Unterlagen und Betriebsmittel, welche durch Planung, Steuerung und Überwachung die Entwicklung und Herstellung von Erzeugnissen gemäß Produktionsstrategie gewährleisten [29].

b) Fertigung

Die Fertigung ist die operative Organisation, zuständig für die Herstellung von Produkten nach Vorgaben des Designs und der Arbeitsvorbereitung. Sie ist gegliedert in Fertigungs- und Schichtleiter und die operativen Arbeitskräfte. Zu den Aufgaben der Fertigung gehört die Ausführung von Fertigungsanweisungen unter Einweisung und/oder Schulung zum Bedienen von technischen Anlagen und Werkzeugen und unter Einhaltung von Sicherheitsvorkehrungen. Die Fertigung trägt über Meldungen zugleich zur Verbesserung von Arbeitsabläufen bei.

Designorganisation

Die Organisation zum Design ist ein Zusammenschluss aus Designern, Statikern und Konstrukteuren, welche für die DMU-Planung in F&E von neuen Produkten oder Produktänderungen, darin inbegriffen das technische Zeichnen, die konstruktive Auslegung und Untersuchung von Lastfällen, zuständig sind.

Qualitätsorganisation

Die Qualitätsorganisation vollführt die Qualitätsplanung zur Sicherung der Prozess- und Produktqualität. Die Aufgaben der Qualitätsorganisation unterliegen dem Qualitätsmanager, dem Qualitätsplaner und dem Qualitätsprüfer.

Controlling

Das Controlling für F&E Projekte ist ein Teilbereich der Organisation zur IPP und zuständig für die Kosten- und Investitionsplanung von Produktionsalternativen. Der Controller ist der integrierten Programmleitung in F&E unterstellt und unterstützt diese beratend bei der Auswahl von Ressourcen und Produktionsalternativen durch Kosten-, Investitions- und Ressourcenplanung.

Anwendersupport

Der Anwendersupport besteht aus Experten aus der Informationstechnologie (IT), darin inbegriffen IT-Leiter, Projektierer und Systemintegratoren für Softwareprodukte. Sie haben die Aufgabe Softwaretools zur Planung und Steuerung bereitzustellen. Dazu muss der IT-Anwendersupport sicherstellen, dass die im Unternehmen verfügbaren Steuerungs- und Softwaretools für sämtliche Planungsaktivitäten angewendet werden können. Ferner umfassen Ihre Aufgaben die Betreuung und Administration von Infrastruktursystemen. Hierzu zählen Pflege und Wartung von Datenstrukturen sowie der verfügbaren Steuerungs- und Regelungssysteme.

Materialflussplanung

Die Materialflussplanung für Forschungsprojekte umfasst die Aufgaben der Transport- und Lagerplanung zwischen dem Lieferanten und der Verbrauchsstelle. Mit der Transportplanung werden im Hubschrauberbau die Aufgaben zum Überführen von Materialien und Erzeugnissen sowie Betriebsstoffen und Betriebsmitteln zur richtigen Zeit, am richtigen Ort und erforderlichen Qualität festgelegt.

Das Speichern der Erzeugnisse basiert auf den Methoden zur PPS. Für Zwischenprodukte und Werkzeuge werden produktionsnahe dezentrale Speicher und Liegeflächen vorgesehen.

Werksplanung

Über die Werksplanung wird die Infrastruktur der Fabrik einschließlich der dazu erforderlichen Stationen und Ressourcen geplant und verordnet. Integrierte Planungsaktivitäten der Werksplanung umfassen die Ressourcenplanung (Personal, Betriebsmittel, Gebäudeflächen etc.) und Stationsplanung (inkl. Arbeitsplatzgestaltung, Flächen- und Standortplanung).

Die Ressourcenplanung beinhaltet die Planung der benötigten operativen Arbeitskräfte sowie die erforderlichen technischen Einrichtungen und Anlagen für den geplanten Forschungs- und Laborbetrieb. Als Standort wird in F&E die grüne Wiese gewählt. Stationen, Anlagen und Arbeitsflächen sind in einer Art und Weise anzuordnen, wodurch ein möglichst effizienter Materialfluss erzielt wird. Die Gestaltung der Arbeitsplätze hat unter der Einhaltung von Sicher-

heitsaspekten, Arbeitsschutzrichtlinien und nach den ergonomischen Leitlinien zu erfolgen. Dazu müssen die Stationen und Ressourcen mit der Fertigungsplanung vereinbart werden. Für die Umsetzung geplanter Stationen benötigt die Werksplanung eine aufschlussreiche Kosten- und Investitionsrechnung für ausgewählte Produktionsalternativen.

Qualitätsplanung

Mit der Qualitätsplanung wird die Produkt- und Prozessqualität spezifiziert und sichergestellt. Die Qualitätsplanung von Luftfahrtbauteilen hat nach den Anforderungen der DIN EN ISO 9000 für „Qualitätsmanagement Systeme“ [9] zu erfolgen. Dazu muss die Qualitätsorganisation sicherstellen, dass die definierten Anforderungen des Designs von der Produktion eingehalten werden. Hierzu sind Aspekte der Gesetzgebung, Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Anforderungen des Kunden zu berücksichtigen. Zu den Aktivitäten der Qualitätsplanung gehören die Festlegung von Anforderungsmerkmalen, Standards und Qualitätsmethoden sowie die Qualitätsprüfung, die Validierung, Verifizierung und Abnahme von Produktgruppen einschließlich der Qualifikation von Prozessen. Die Qualitätsplanung in F&E ist bestrebt, reproduzierbare und automatisierte Prozesse zu erforschen und auf einen künftigen Einsatz vorzubereiten.

Produktions-Planung und Steuerung

Die PPS hat die Aufgabe Produktionsabläufe durch einen festgelegten Informationsfluss zu steuern, regeln und zu überwachen. Neben der statischen Produktionsplanung wird in F&E die dynamische PPS mit unterstützenden Simulations- und Planungstools untersucht. Hierfür sollen künftig digitale Prozess- und Fabrikplanungstools angewendet werden. Die wesentlichen Aufgaben der PPS sind die Materialbedarfsplanung, die Kapazitätsplanung und die Planung der Belegzeiten von Speichereinrichtungen und Ressourcen.

Digital Mock-Up Planung

Bei der Planung des Digital Mock-Ups (DMU) in F&E werden nach einer Strategie festgelegte Anforderungen der Kunden und neue Ideen im Design von Produkten und Ressourcen mit modernen Methoden und Planungstools erforscht und entwickelt. Neben der Entwicklung von Produktgruppen und Layoutplänen in digitalen 3D Modellen wie dem CAD ist die Erstellung von Produktstrukturdaten, Stücklisten und die Optimierung des Bauteilgewichts ein Bestandteil der DMU Planung in F&E.

Kosten- und Investitionsplanung

Mit der Kostenplanung sind die Stückkosten sowie die Einzel- und Gemeinkosten des Materials, der Fertigung und deren Herstellung für ausgewählte Produktionsalternativen zu bestimmen und die während der Planung auftretenden Kostenabweichungen darzulegen. Mit der Investitionsplanung werden auf Basis der geplanten Belegungen und der tatsächlichen Auslastung unterschiedliche Fälle untersucht. Ergebnisse der Kosten- und Investitionsrechnung fließen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ein. Durch Kosten- und Investitionsplanung sind die wesentlichen Kostentreiber geplanter Produktionsalternativen in Erfahrung zu bringen, um im späteren Planungsverlauf gezielte Maßnahmen einzuleiten, die Kosten zu begrenzen und Einsparung zu erzielen.

5 Strategie und Vorgehensweise

Auf der Suche nach neuartigen Produktionslösungen zur Herstellung von H/C Strukturbauteilen wird der erforschte Leitfaden zur IPP in F&E angewendet (siehe Kapitel 4). Dabei ist beabsichtigt, innovative Produktionsalternativen zu erforschen und die Entwicklung kontinuierlich zu verbessern. Anforderungen und Änderungen in der Prozessplanung zur Herstellung von H/C Strukturbauteilen sind aufzuzeigen.

In Anbetracht der Forschungsziele das Gewicht zukünftig geplanter H/C Strukturbauteile zu reduzieren und gleichzeitig Kosten in der Teilefertigung und Montage einzusparen, ist vorgesehen, durch integrale Bauweise ein möglichst breites Teilespektrum an Faserverbundstrukturen zu einer Komponente zusammenzufassen. Um die Produktivität in der Herstellung von Bauteilen aus FVW steigern zu können, setzt die F&E auf eine moderne Strategie der weitestgehend automatisierten Fertigung. Während die Herstellung von Strukturbauteilen heutzutage fast ausschließlich durch manuelle Tätigkeiten vom Werker erfolgt, zielt die zukünftige Fertigung und Montage darauf ab, automatisierbare Technologien einzusetzen. Durch die Integration moderner automatisierter Verfahren soll neben der Produktivität die Produktqualität und ökonomische Effizienz in der Herstellung von H/C Strukturbauteilen sukzessiv gesteigert werden. Hierbei ist beabsichtigt, über flexible Arbeitssysteme eine große Teilevielfalt in möglichst wenigen Arbeitsgängen herzustellen. Angestrebt ist der Einsatz flexibler Arbeitssysteme wie Roboter und robotergestützte Effektoren zur Fertigung von Faserpreforms und in der Montage von Strukturkomponenten.

Zur Übersicht ist die Forschungsarbeit der Prozessplanung zur Herstellung ausgewählter H/C Strukturbauteilen untergliedert in die Prozessketten des „Front- und Back-End“. Das „Front-End“ behandelt die Teilefertigung von Faserverbundstrukturen zum „Framework“. Die Montage von Strukturbauteilen am Beispiel einer „Bodengruppe“ ist in der Prozesskette des „Back-End“ eingebunden. Damit gliedert sich die Prozessplanung wie folgt (siehe Abbildung 19).

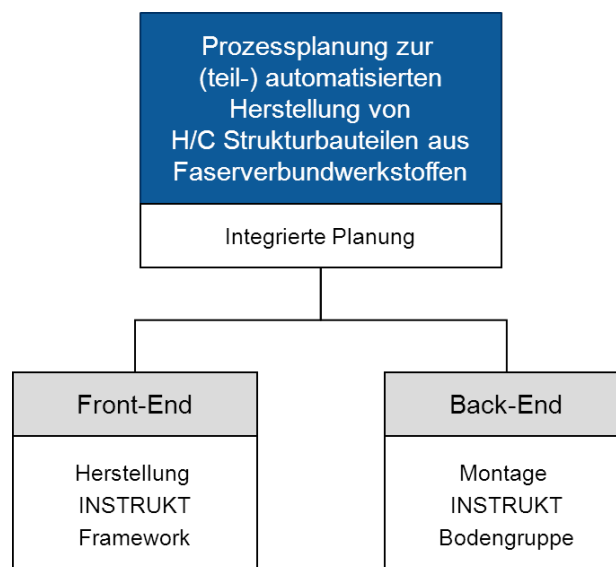


Abbildung 19 – Gliederung der Forschungsarbeit zur „(teil-) automatisierten Herstellung von H/C Strukturbauteilen aus Faserverbundwerkstoffen“

5.1 Fertigungsstrategie „Front-End“

Mit den stetig zunehmenden industriellen Anforderungen nach immer leichteren und hoch belastbaren Hubschrauberstrukturen sind der Einsatz und die Anwendung der Faserverbundtechnologie angedacht. Zugleich wird zur Herstellung von H/C Strukturbauteilen ein integratives Prinzip angestrebt. Hierbei ist beabsichtigt das Teilespektrum der Baugruppe für das Framework auf eine Einheit mit ein und demselben Verbundwerkstoff zu reduzieren. Verglichen mit der herkömmlichen Differentialbauweise werden mit der Integralfertigung ein reduzierteres Teilespektrum und möglichst geringe Fertigungskosten angestrebt, wonach die Zahl der Arbeitsschritte und die Fertigungszeiten minimiert werden sollen. Dazu ist beabsichtigt, dass aus F&E moderne, vorwiegend (teil-) automatisierte Legeverfahren zum Preforming von bebinderten Faserhalbzeugen zur Anwendung kommen. Im Anschluss an das Preforming soll erstmalig ein H/C Framework (Abbildung 20) vollständig mittels RTM-Infiltrationsverfahren integral in einem Arbeitsgang und in einer Form hergestellt werden.

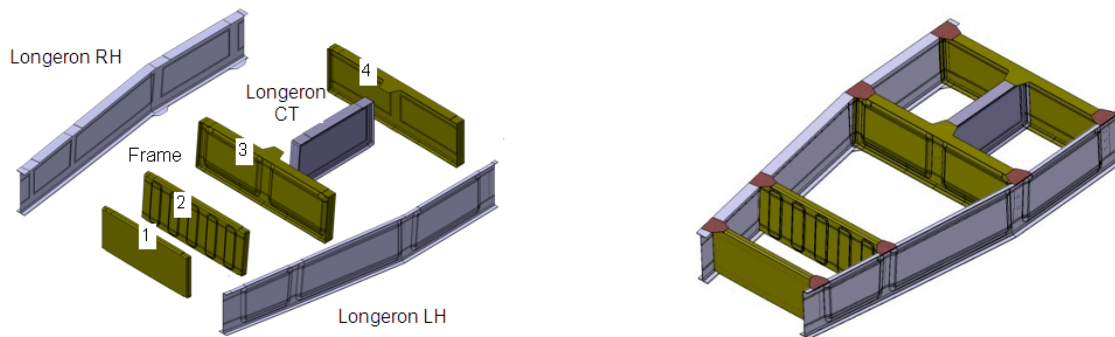


Abbildung 20 – Preforms für das Framework (links); Integralbauteil zum Framework (rechts), (nach [30])

Zur Verstärkung von Verbindungsstellen der Preforms und Querverstrebungen ist die Anbindung hoch integraler Verbindungselemente in die Teilestruktur und Baugruppen des Frameworks aus INSTRUKT vorgesehen. Ferner ist davon auszugehen, dass die notwendigen Einsatzmaterialien der Faserwerkstoffe beim Zuschneiden von Einzellagen auf Endmaß zugeschnitten werden können und sich die Nacharbeit damit in Grenzen hält.

5.2 Montagestrategie „Back-End“

Im Rahmen der Untersuchung des Fügens von Strukturbauteilen wird für zukünftige H/C Bodengruppen eine weitestgehend automatisierte Montage verfolgt. Eine wesentliche Herausforderung liegt dabei in der Anbindung der Strukturbauteile Frames, Framework und Bodenschale. Um die Produktivität zu steigern, sollen automatisierte Verbindungstechnologien zur Montage von H/C Bodengruppen erforscht und innovative Automatisierungskonzepte wie Szenarien, einschließlich Varianten, entwickelt werden. Durch den Einsatz innovativer Arbeitssysteme, mit einem hohen Grad an Flexibilität, sollen die Vielfalt und Qualität der Produkte in der Strukturmontage kontinuierlich gesteigert und die Fertigungskosten minimiert werden. Für eine durchgängig automatisierte Strukturmontage von H/C Bodengruppen sind erstmals flexible robotergestützte Fertigungssystemen zu integrieren. Mit Robotern und innovativen Effektoren sollen die benötigten Handhabungs- und Montagetätigkeiten umgesetzt werden.

Die Montage der H/C Bodengruppe lässt sich vereinfacht reduzieren auf die folgenden zwei Fügeschritte:

1. Fügen der Frames seitlich an das Framework
2. Fügen des montierten Frameworks mit der Bodenschale

Beide Fügeschritte sind in Abbildung 21 dargestellt.

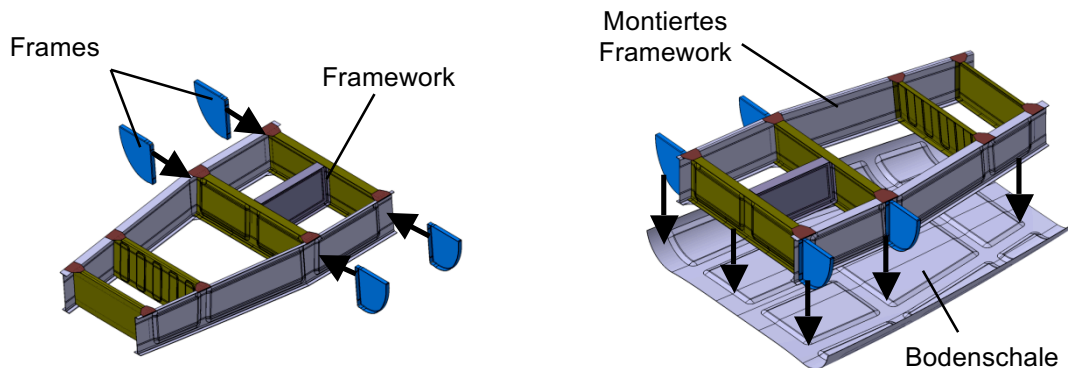


Abbildung 21 – Fügen von Frames & Framework (links); Fügen von Framework & Bodenschale (rechts)

Beim Fügen ist vorgesehen die Montageteile der Bodengruppe erstmalig ohne Niete zu verbinden. Der Verbund selbst soll dabei in erster Linie die spezifischen Qualitätsmerkmale erfüllen, darin eingeschlossen die Bestrebung nach einer reproduzierbaren Shimm-/Klebeverbindung. Eine Maßnahme zur qualitativen Verbesserung der Haftungseigenschaften von Shimm-/Klebstoffen ließe sich bereits vor dem Fügen über eine Oberflächenvorbehandlung an definierten Fügestellen erzielen. Die Integration von automatisierten Verfahren zur Oberflächenvorbehandlung, vollautomatischen Klebung und Q-Inline Messung von Fügespaltmaßen innerhalb einer flexiblen Fertigungszelle bilden damit einen wesentlichen Bestandteil der modernen Montagestrategie.

Ferner sieht die Strukturmontage vor, sowohl während als auch nach dem Fügen eine weitestgehend fließende Produktion zu gewährleisten. Durch die Entwicklung eines durchgängigen Montageflusses soll dabei die Belegung von Werkzeugen und Vorrichtungen reduziert und die Produktionsrate kontinuierlich gesteigert werden. Es wird erwartet, dass die größten Stand- und Wartezeiten von Arbeitssystemen und Werkzeugen beim Aushärten der Shimm-/Klebeverbindung anfallen. Eine geplante Maßnahme, die Standzeiten von Werkzeugen und Vorrichtungen zu reduzieren, ist die Integration eines automatisierten Schnellhärtungsverfahrens. Was die Entwicklung der Prozesse und Prozessketten anbelangt, ist im Zuge der Prozessplanung, Erprobung und Realisierung, der Erforschung und Einhaltung von Prozessparametern und Fügetoleranzen große Aufmerksamkeit beizumessen.

6 Integrierte Programm-Planungsprämissen

Für die Produktionsplanung zur Herstellung von Strukturbauteilen des Frameworks und der H/C Bodengruppe sind die benötigten Planungsprämissen im Folgenden erläutert.

6.1 Integralbauweise

Gemäß der modernen Fertigungsstrategie zum Front-End wird die Herstellung des Frameworks nach integraler Bauweise angestrebt. Bei der kontinuierlichen Fertigung zu einem quasi homogenen Framework soll durch Integralbauweise die Anzahl der darauffolgenden Montageschritte begrenzt werden.

Mit dem Ziel, dem Verbundwerkstoff bessere Eigenschaften einzuverleiben, sind Sandwichkerne und allgemein die Sandwichbauweise bei Konstruktion und Produktion der Strukturbauteile zu berücksichtigen.

6.2 Automatisierungsgrad

Der Automatisierungsgrad (Ag) ist eine wichtige technische und wirtschaftliche Größe der Fertigung - mit dem Ziel eine innerhalb der Organisationsform effiziente Produktion sicherzustellen.

Angestrebter Automatisierungsgrad:

Front-End > 35%

Back-End > 60%

Die tatsächlich realisierte Höhe des Ag nimmt Einfluss auf die Gestaltung des Arbeitsplatzes.

6.3 H/C Produktstruktur

Produktstrukturen der Hubschrauber führen Konfigurationen im Rahmen des Design, der Herstellung, der Lieferung und entlang der Wertschöpfungskette.

Die H/C Produkt-Struktur wird über folgende Produktklassen definiert:

- Configuration Item (CI)
- Assembly Delivery Unit (ADU)

Configuration Item

DIN ISO 10007: beschreibt eine Konfigurationseinheit als eine Einheit innerhalb einer Konfiguration die eine Endgebrauchsfunktion erfüllt [31].

Konfigurationen sind dabei miteinander verbundene funktionelle und physische Merkmale wie sie in den Produktkonfigurationen in Form von Anforderungen an die Entwicklung, Realsierung, Verifizierung und zur Unterstützung des Produktes beschrieben sind. Ein CI definiert bspw. Hardware, Software und zugehörige Dokumente.

Assembly Delivery Unit

Eine Assembly Delivery Unit ist eine für Hubschrauber spezifische Klasse, welche zur Modulherstellung für bspw. Unterbaugruppen verwendet wird und die physikalische Produkt-Struktur verschiedener Funktionen enthält. Eine ADU besteht aus bspw. Baugruppen, Unterbaugruppen und weiteren möglichen Teilen und Konfigurationen. Jeder Prozessverantwortliche

der Produktion ist befugt zur Erstellung der ADU bis hin zur Auslieferung an den Kunden. ADUs haben eine hierarchische Struktur, welche in einem übergeordneten Modul zusammengefasst sind und von der FAL geliefert werden. Eine ADU ist unabhängig vom Versorgermodell und kann sowohl an den externen als auch internen Kunden geliefert werden (vgl. [32]).

6.4 Fertigungsverfahren in F&E

Auf der Suche nach neuen Produktionslösungen ist mit der F&E im Rahmen des Projektes INSTRUKT beabsichtigt, neuartige Automatisierungstechnologien und Verfahren zu untersuchen, um diese auf einen zukünftigen Einsatz vorzubereiten. Moderne Fertigungsverfahren zur Herstellung von Preforms sind das automatisierte „Pick & Drape“ (P&D) und das „Pick & Weld“ (P&W).

A) Automatisiertes Pick & Drape -Verfahren

Das Pick & Drape ist ein Verfahren, bei dem flächige Halbzeuge und Lagenpakete mit einem Roboter vollautomatisch aufgenommen und in ebener Form abgelegt werden sollen. Das Ansaugen von Faserhalbzeugen soll künftig über einen „Reuleaux“-Funktionskopf mit integrierten Saugdüsen und überzogenem Polster erfolgen. Ein von den Saugdüsen erzeugtes Vakuum strömt dabei durch die Polster hindurch und leitet die erforderliche Saugkraft zum Preform. Beim Ablegen der Textilien auf dem Formwerkzeug schließen die Saugöffnungen der Vakuulkammern. Die Saugdüsen werden dazu elektronisch angesteuert und der Kraftfluss zur Aufnahme und Ablage wird über den Vakuumdruck geregelt. Zur gleichen Zeit aktivieren die Heizelemente den Binder der fixierten Faserhalbzeuge. Beim Heizen wird die Verbindung der Faserlagen eingeleitet. Durch Vorheizen der Heizfelder kann die Haltephase deutlich verkürzt werden. Die folgende Abbildung 22 zeigt die Prinzipskizze zum automatisierten Pick & Drape Verfahren.

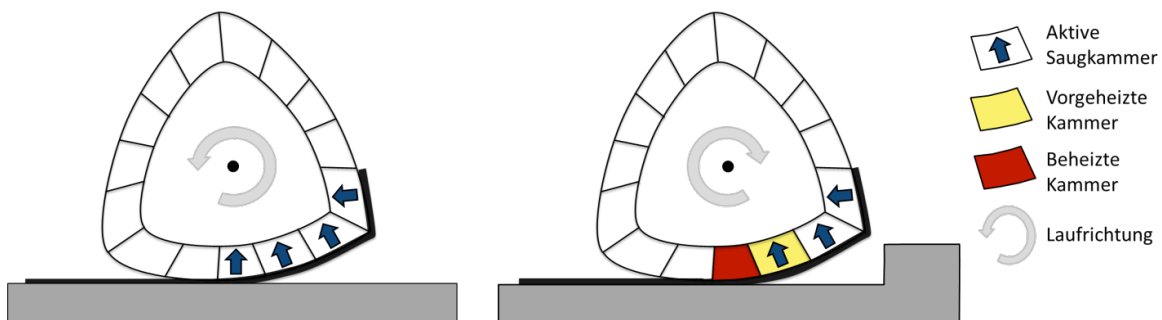


Abbildung 22 - Verfahrensablauf zum automatisierten „Pick & Drape“ (nach [33, 34]).
Das Reuleaux-Dreieck ist nach Pionierarbeit des deutschen Ingenieurs Franz Reuleaux benannt.

Mit dem P&D-Verfahren in Form eines Reuleaux-Drapierkopfes ist vorgesehen, verbinderte o.a. Thermoplaste in hochintegrativer Form zu verarbeiten. Informationen zu bisher erprobter Legeverfahren zur Herstellung von Faserverbund-Vorformlingen siehe auch: [34].

B) Automatisiertes Pick & Weld-Verfahren

Das Pick & Weld (P&W) ist ein modernes Verfahren in der F&E bei Airbus Helicopters, bei dem mit einem P&W Endeffektor robotergestützt vereinzelte Verstärkungslagen automatisiert aufgenommen, vollautomatisch abgelegt und beim Ablegen verbinderte Halbzeuge mit Preforms über Ultraschall direkt verschweißt werden sollen. Beim Ultraschallschweißen (USS) wandelt ein

Konverter hoch frequente Schwingungsenergie in mechanische Energie um. Durch die beim Schwingen anfallende Reibungsenergie wird der Binder der Faserhalbzeuge aktiviert, so dass die an den Grenzflächen bebinderten Faserhalbzeuge zueinander verschweißen. Über entsprechende Niederhalter am Funktionskopf werden die Faserlagen festgehalten, was das Auftreten von Ondulationen vermindert.

Abbildungen 23-24 zeigen den Verfahrensablauf beim Pick & Weld.

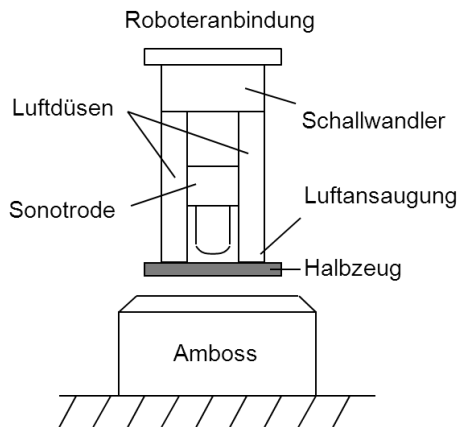


Abbildung 23 - Aufnahme Verstärkungslage

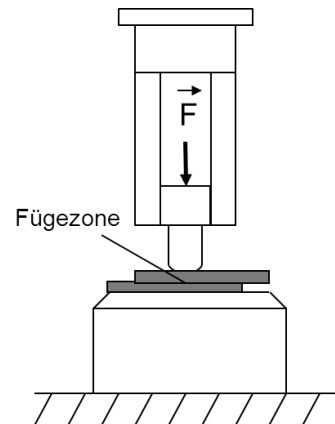


Abbildung 24 - Verschweißen zum Preform

Dieses Verfahren ist vorgesehen zur Lagenverstärkung von Halbzeugen mit bebinderten Lagen o.a. sog. Tailored Reinforcements (TR).

6.5 Montageverfahren in F&E

Im Back-End zu erforschende Technologien und Verfahren zur Montage von Strukturbauteilen sind im Folgenden dargelegt.

A) Robotergestützte Greifertechniken

Neben den herkömmlichen Spannvorrichtungen sollen zur Handhabung von Hubschraubermontagebauteilen frei bewegliche Robotergreifer entwickelt und angewendet werden.

Zur Bewältigung der Montageaufgaben kommen sowohl Einfachgreifer als auch Mehrfachgreifer in Betracht. Das Fügen von mehreren Frames zugleich erfordert die Verwendung eines Mehrfachgreifers. Ferner ist die Auswahl eines Greifersystems nach dem Wirkprinzip und dem Greifertyp bestimmt. Die Greifer beim „Back-End“ haben dabei den folgenden Wirkprinzipien zu genügen:

- Halten durch Kraftschluss
- Halten durch Formschluss

Bei der Auswahl von Handhabungsvorrichtungen nach dem alternativen Greif- & Wirkprinzip werden alle diejenigen Greifer und Spannvorrichtungen in Erwägung gezogen, bei denen das Halten entweder durch Reibkräfte oder aber durch Unterdruck- bzw. Saugkräfte realisiert werden kann.

Anmerkung:

Das Halten durch Magnetkräfte und Molekularkräfte ist für den speziellen Anwendungsfall von Strukturbauteilen zu vernachlässigen, da die Faserverbundbauteile zur Handhabung weder magnetisch sind, noch in Form und Dimension im Dünnschichtbereich liegen.

Damit stehen für die Montage zwei grundlegende Greifertypen zur Auswahl:

- Mechanische Greifer
- Sauggreifer

Zudem lassen sich Greifer und Spannvorrichtungen nach der Zugriffsart einteilen. Für die Montage von Framework und Bodenschale sind entsprechend der Bauteilgeometrie Außengreifer vorzusehen. Ein Innengreifer wird ausschließlich zum Handhaben der Frames in Betracht gezogen.

Anmerkung:

Bei der Auswahl von Greifer- und Spannsystemen ist zu berücksichtigen, dass die Ortsabhängigkeit einen erheblichen Einfluss auf die Einsatzflexibilität nimmt.

B) Robotergestützte Atmosphärendruck-Plasmabehandlung

Mit einer robotergestützten Plasmabehandlung sollen die Oberflächen von Strukturbauteilen vollautomatisch aktiviert werden. Über diese Art der Vorbehandlung sollen unerwünschte chemische oder organische Stoffe an den Oberflächen der Materialien beseitigt werden. Eine Erhöhung der Oberflächenspannung von Fügeflächen durch Plasma verbessert erfahrungsgemäß die Haftungseigenschaften beim Fügen mit Klebstoffen. Das benötigte Plasmagas soll beim automatisierten Atmosphärendruck-Plasmaverfahren unter Normaldruck in einer am Roboter adaptierten Düse erzeugt werden.

Die Vorteile der Robotergestützten Plasmavorbehandlung sind (vgl. [35]):

- Hohe Prozessgeschwindigkeit
- Stabile Prozesssicherheit
- Wirtschaftliche Vorbehandlung
- Umweltfreundliche Behandlung
- Robotergestützte Anwendung
- Einfache Integration in die Fertigung

C) Automatisiertes Kleben/Shimmen

Das automatisierte Shimmen ist eines der Fertigungsverfahren in F&E, bei dem ein Arbeitssystem programmgesteuert einen definierten Fügespalt mit einer Spaltausgleichsmasse vollautomatisch abdichten soll. Zumeist wird zum Spaltausgleich ein Klebstoff verwendet. Der Kleb- bzw. Shimmstoffauftrag soll künftig mit Roboter und adaptierter Klebedüse umgesetzt werden.

Anmerkung:

Bei größeren Spaltmaßen wird zumeist noch ein Blech in die Fügezonen eingebracht, was derzeit manuell erfolgt. Diese Vorgehensweise wird oft als Hartshimmen bezeichnet. Hingegen wird beim Weichshimmen der Fügespalt ausschließlich durch eine pastöse Ausgleichsmasse geschlossen.

Sofern die zu fügende Struktur lasttragende Elemente sind, sind an den Verbindungsstellen zusätzlich zur Spaltausgleichsmasse Halterungselemente wie bspw. Nieten vorzusehen, o.a. die Bauteile werden strukturell verklebt.

D) Fügen durch automatisiertes Anpressen

Unter definierter Kraft sind die Montageteile zusammenzuführen. Das Fügen durch Anpressen von Strukturbauteilen zur H/C Bodengruppe soll künftig automatisiert durchgeführt werden. Die Werkzeugvorrichtungen müssen dazu im Stande sein, die erforderlichen Fügekräfte vollautomatisch auf die Strukturbauteile zu übertragen ohne diese zu beschädigen.

E) Automatisiertes Induktionshärteverfahren

Mit Roboter und Induktionskopf ist vorgesehen, die Klebestellen gefügter Bauteile punktuell auszuhärten, um damit die Stand- und Liegezeiten von Werkzeugen und Vorrichtungen zu verkürzen. Die induzierte Wärme soll dabei von einer mit Strom durchflossenen Induktionsspule erzeugt und auf die vorgesehenen Fügestellen übertragen werden.

6.6 Prüfverfahren in F&E

Um Fügeflächen, Verformung und Fügespaltmaße möglichst vor und nach dem Fügen und ohne Unterbrechung des Montageflusses messen zu können, soll die Oberflächenprüfung automatisiert und digitalisiert erfolgen. Mittels Projektionslaser und Stereokameras ist die Oberfläche der Fügeteile aufzuzeichnen und in einem Messmodell in dreidimensionaler Darstellung zu digitalisieren. Das Funktionsschema zur automatisierten Oberflächenprüfung ist in Abbildung 25 veranschaulicht.

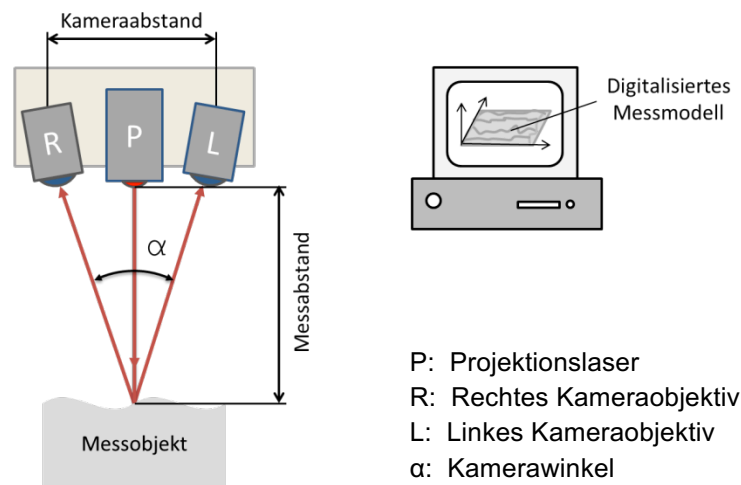


Abbildung 25 – Messverfahren zur automatisierten Oberflächenprüfung (nach [36])

6.7 Produktionssteuerung

Gegenüber der traditionellen Produktionssteuerung in der Herstellung von H/C Strukturbauteilen ist eine vom Markt getriebene verbrauchsorientierte Steuerung der Materialströme nach dem Pull-Prinzip geplant. Der prinzipielle Ablauf der verbrauchsorientierten Steuerung sei in Abbildung 26 dargestellt.

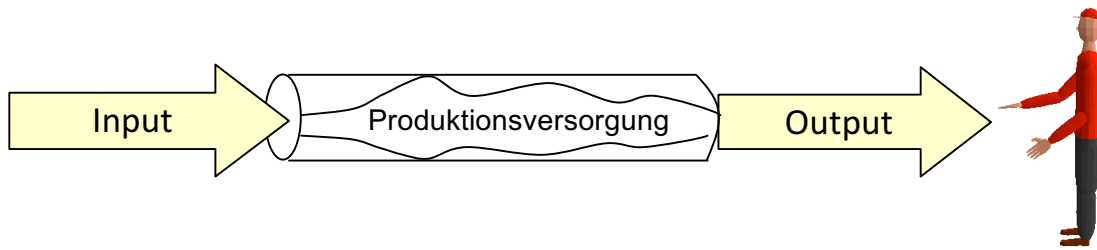


Abbildung 26 – Produktionsplanung und Steuerung „Pull“-Prinzip (vgl. [11])

Beim Pull-Prinzip, auch bekannt als KANBAN System, wird ein generierter Produktionsauftrag (PA) von der Produktionsanlage abgearbeitet. Dazu wird der Bedarf an die entsprechenden Puffer verkündet und von Speicher zu Speicher weitergereicht. Einzelne Arbeitsstationen rufen dazu die angeforderten Materialien und Teile in kurzen Zyklen von den liefernden Produktionseinheiten ab. Die Anforderungen an das Pull-System sind:

- Einfache Steuerung
- Abhängigkeitsnetzwerk mit dem Versorger und Kunden
- Vermeidung von unnötig hohen Lagerbeständen
- Bedarfsorientierte schlanke Produktion

Die Produktions- und Puffersteuerung richtet sich dazu nach der im Auftrag definierten Art und Menge der Produktionsgüter. Bei der Auslegung der Pufferspeicher und Steuerung müssen Ordnungszustand (OZ) von Materialien, Erzeugnissen und Werkzeugen definiert werden.

VDI 2860 Teil 3: definiert den OZ über das Verhältnis aus Orientierungsgrad (OG) und Positionierungsgrad (PG) fest [37].

$$OZ = OG/PG$$

PG = Zahl der translatorischen Freiheitsgrade
OG = Zahl der rotatorischen Freiheitsgrade

6.8 Programmlaufzeit

Die geplante Programmlaufzeit setzt sich zusammen aus der geplanten Serienlaufzeit und der Ersatzteilversorgung.

Geplante Serienlaufzeit:	20 Jahre
Geplante Ersatzteilversorgung:	10 Jahre
Ermittelte Programmlaufzeit:	30 Jahre
Geplanter Start-Termin:	01.01.2013
Geplanter End-Termin:	30.12.2033

Anmerkung:

In der Serienlaufzeit enthalten ist die Phase des Serienanlaufs.

In der F&E von Produktionsalternativen wird ein Planungszeitraum von 10 Jahren betrachtet.

6.9 Technische Planzahl

Die Technische Planzahl (TPZ) ist eine angenommene Zielgröße in der Produktionsplanung. Mit der technischen Planzahl werden die zu produzierenden Einheiten an Strukturbauteilen über einen definierten Zeitraum festgelegt.

TPZ (max.)= 40 Einheiten p.a.

6.10 Fertigungstyp

Angestrebt wird die Entwicklung von Strukturbauteilen, Framework und Bodengruppen für zivile Hubschrauber in serieller Fertigung.

Geplante Gesamtproduktionsmenge ~650 Stk.

6.11 Produktionsraten

Geplant wird der Serienanlauf nach einem Wachstumsmodell mit jährlich steigendem Produktionsausstoß (siehe Abbildung 27). Tabelle 1 zeigt die jährlich geplanten Produktionsraten oder auch TPZ über den Planungszeitraum.

Jahr	Startdatum	TPZ
1	01.01.2013	2
2	01.01.2014	6
3	01.01.2015	11
4	01.01.2016	17
5	01.01.2017	24
6	01.01.2018	32
7	01.01.2019	40
8	01.01.2020	40
9	01.01.2021	40
10	01.01.2022	40

Tabelle 1 – TPZ in den Jahren von 2013 - 2022

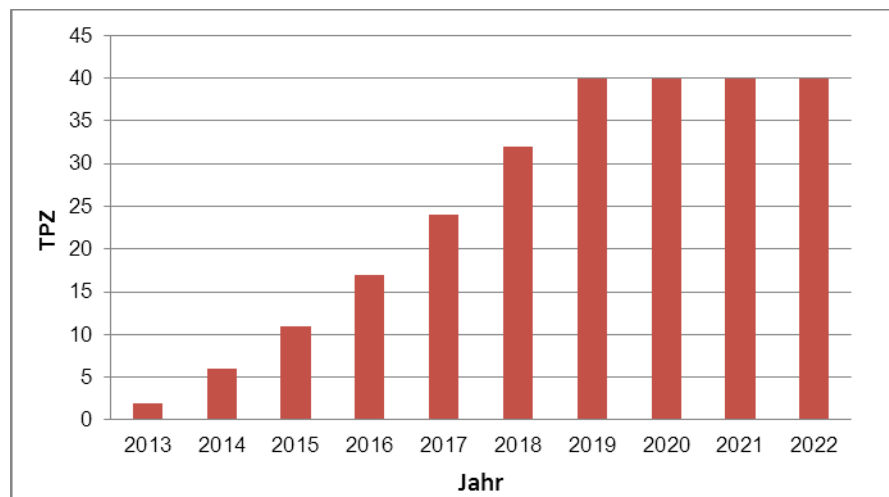


Abbildung 27 – Hochlaufkurve zum geplanten Produktionsprogramm

6.12 Lernkurve

Im Wachstumsmodell zu berücksichtigen sind die Unsicherheiten der Anlernphase von Werkern. Der „Koeffizienten Rang“ der Lernkurve entspricht [38]:

$$\text{Koef. Rang} = \frac{\text{Rang}^{\frac{\log_{10}(\text{Koef.L})}{\log_{10}(2)}}}{T(x)}$$

Basiskalkulation T(x) [Planwert x = 20]

Zielkalkulation $T(20) = 200 \text{ h}$
Lernkoeffizient $(L) = 90\%$

Die Lernkurve der geplanten Produktion ist in Abbildung 28 dargestellt.

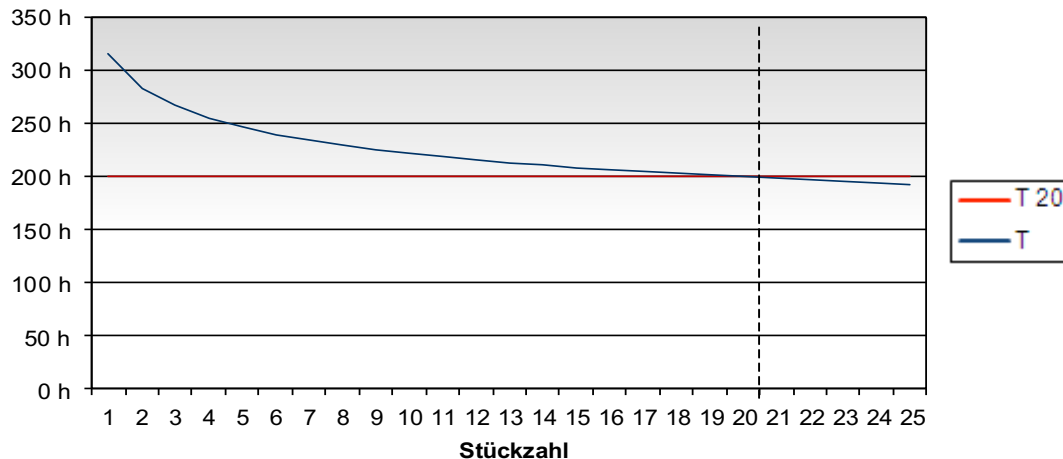


Abbildung 28 – Lernkurve der Produktionsszenarien

6.13 Schichtmodelle

Das Schichtmodell legt fest, mit welcher Belegschaft, zu welchen Arbeitszeiten und bei welcher Verfügbarkeit die betrieblichen Aufgaben der Werker abzuleisten sind. Das Schichtmodell gliedert Schichten für Arbeitskräfte. Die Schichtplanung unterliegt dem Arbeitsgesetz und den betrieblichen Vereinbarungen. Eine Schicht wird angegeben entweder in Stunden oder Minuten. Darin enthalten sind neben Arbeitszeiten auch Verfügbarkeiten und Pausenzeitregelungen. Jeder Schicht sind ein Schichtführer und das für den Fabrikbetrieb erforderliche Personal zugewiesen. Üblicherweise sind die Schichtfolgen in Produktionsunternehmen vorwärts rotierend. Die Arbeitszeiten im Produktionsbetrieb sind beispielhaft aufgeführt:

Frühdienst:	6:00 bis 14:00 Uhr
Spätdienst:	14:00 bis 22:00 Uhr
Nachtdienst:	22:00 bis 6:00 Uhr

Aufgrund der Vielzahl an Fertigungsaufgaben in der Teilefertigung ist für das Front-End ein Zweischichtbetrieb geplant. Hingegen fallen beim Back-End weit weniger Fertigungsaufgaben an, weshalb hierzu von einem Einschichtbetrieb auszugehen ist.

Beispiel:

Front-End - Kennzeichnung, für welchen Bereich das Schichtmodell gilt
 10 - Schichten pro Woche
 2S - 2-Schichtmodell

Zur Berechnung der Verfügbarkeiten von Werker und Ressourcen wird das Berechnungsmodell von REFA angewendet. Verteilzeiten sind Bestandteile der Grundzeit (t_g).

$$tg = ter + tv$$

$$tv = tp + ts$$

tp – Persönliche Verteilzeit 5%

ts – Sachliche Verteilzeit 5-8%

Betriebliche Vereinbarung tv = 12%

Verfügbarkeit Werker = 88%

Für alle weiteren Ressourcen gilt:

Verfügbarkeit Maschinen & Anlagen = 95%

Anmerkung:

Rüstzeit (ter) wurde bei der Produktionsplanung vernachlässigt.

Bei der Verfügbarkeit sind die Verteilzeitsätze berücksichtigt.

Die persönliche Verteilzeit ist über die Verfügbarkeit der Werker abgedeckt.

Weitere Einzelheiten sind im Schicht- oder auch Dienstplan festzulegen. Der Schichtplan bezieht sich zumeist auf den Kalender oder einen Kalenderabschnitt, innerhalb dessen Schichtführer und Schichtarbeiter mit Schichtfolge zugewiesen sind. Die Schichtplanung selbst ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

6.14 Stundensätze

Für die Fertigungsplanung sind für Maschinen und Werker einheitliche Stundensätze angenommen. Die Stundensätze können von der Teilefertigung zur Montage variieren.

Anmerkung:

Der Stundensatz ist ein nach Vorgabe einheitlicher Wert, der sowohl den Kostenanteil zur Fertigung mit Mensch als auch mit Maschine enthält. Im Stundensatz sind Löhne für Fertigungs- und Schichtleiter sowie Flächen- und Energiekosten inbegriffen.

6.15 Arbeits- und Kollisionsraum

In der Fabrikplanung sind den Arbeitssystemen grundsätzlich Arbeits- und Kollisionsraum zuzuweisen (vgl. [39]).

a) Arbeitsraum

Der Arbeitsraum eines Arbeitssystems wird definiert als die Gesamtheit aller durch die Bewegungsachsen erreichbaren Punkte – ohne den Bereich, den das Arbeitssystem selbst darstellt. Liegen die Hauptachsen als translatorische Achsen vor, so definieren diese einen kubischen o.a. kartesischen Arbeitsraum. Demgegenüber bilden drei Rotationsachsen einen vollständig kugelförmigen Arbeitsraum.

b) Kollisionsraum

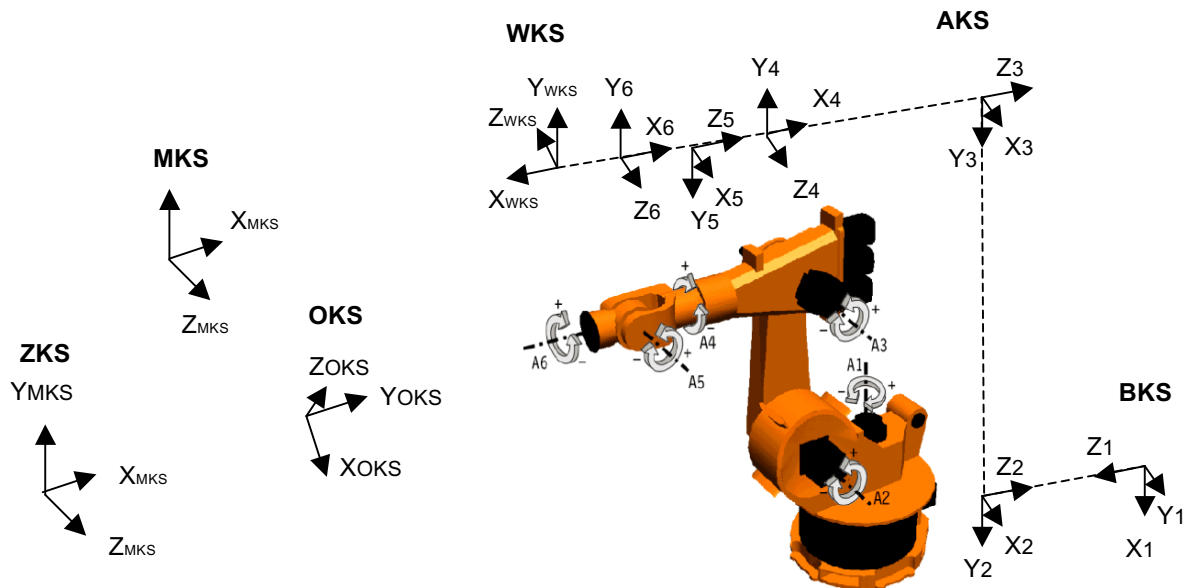
Als Kollisionsraum wird der Bereich beschrieben, den ein Arbeitssystem erreichen kann – einschließlich dem Arbeitssystem selbst.

Anmerkung:

Die Bewegungsachsen eines Arbeitssystems nehmen Einfluss auf den Arbeits- und Kollisionsraum. Der Arbeits- und Kollisionsraum eines Industrieroboters kann über die Einführung zusätzlicher Translations- oder Linearachsen noch vergrößert werden. Orthogonale Verknüpfungen erweitern den Arbeitsraum in die dritte Raumebene.

6.16 Koordinatensysteme und Kinematische Kette

Zum Bestimmen von Lage, Position und Orientierung von Roboter und Bewegungsabläufen sind Koordinatensysteme und eine kinematische Kette einzurichten (siehe Abbildung 29).



MKS: Messkoordinatensystem
OKS: Objektkoordinatensystem
ZKS: Zellenkoordinatensystem

AKS: Achskoordinatensystem
BKS: Bezugskoordinatensystem
WKS: Werkzeugkoordinatensystem

Abbildung 29 – Industrieroboter [40], Koordinatensysteme und kinematische Kette

Rechenverfahren zur Transformation von Koordinatenachsen sind in [39] beschrieben.

6.17 Stationen und Sektionen

Sektionen und Stationen werden zum besseren Umgang in der Herstellung von H/C verknüpft. Eine Verbindung ist notwendig, damit die relevanten Aktivitäten zum Materialfluss entlang der Wertschöpfungskette (Kapazitäts- und Transportplanung) erzielt werden können.

Eine Station ist ein Bereich und/oder Gebäude, welcher oder welches mit einer Funktion zum Produktionsprozess in Beziehung gesetzt wird [41]. An jeder Station wird eine Vielzahl an Prozessen, Aktivitäten, Tätigkeiten und dgl. durchgeführt.

Beispiel: St 3 RTM

St - Station
3 - Stationsnummer
RTM - Prozess/e, Aktivität/en

Anmerkung:

Es sind stationsabhängige und stationsunabhängige Vorgänge voneinander zu unterscheiden. Stationsabhängig sind Vorgänge, welche an definierten Arbeitsstationen durchgeführt werden. Hingegen sind stationsunabhängige Vorgänge (z.B. Transport) nicht ausschließlich einer Station zuzuweisen.

Sektionen beschreiben die wesentlichen Teile, aus denen ein Luftfahrzeug zusammengebaut wird. Diese Einzelteile sind nummeriert [42].

Beispiel: S 3

S - Sektion

3 - Typ-Nummer der Sektion

7 Methoden und Tools

In diesem Kapitel werden die im Rahmen dieser Arbeit angewandten Methoden der Fertigung, Qualitätssicherung, Programmierung, alternative Methoden zur PPS sowie Kosten- und Investitionsrechnung behandelt.

7.1 Methoden der Fertigung

Als Methode der Fertigung ist geplant, dass die Herstellung der Preforms und Bodengruppe in flexiblen Roboterzellen, in Gruppen gefertigt werden. Bei der Gruppenfertigung werden die zur Herstellung eines Teilespektrums erforderlichen Betriebsmittel zusammengefasst.

7.2 Methoden der Qualitätssicherung

Für die systematische Erkennung von Problemstellungen und deren Lösung bietet es sich an, Werkzeuge und Methoden aus dem Qualitätsmanagement (QM) anzuwenden. In der F&E von Luftfahrtbauteilen sind die folgenden QM-Methoden zur Produkt- und Prozessplanung sowie Prüf- und Messmethoden zur Qualitätsprüfung zu berücksichtigen.

A) Quality Function Deployment (QFD)

Die QFD ist eine strukturierte Vorgehensweise um Anforderungen in qualitätsbeeinflussende Eigenschaften von Produkten und Prozessen umzuwandeln. Diese Methode wird im Rahmen der Neuentwicklung von Strukturbauteilen angewendet und ist gegliedert in vier Planungsphasen zu Produkt, Komponente, Prozess und Produktion [43]. Das „House of Quality“ (HoQ) dient als Werkzeug zur Darstellung der Anforderungen und Wechselwirkungen im Rahmen des QFD.

B) Lasten- und Pflichtenheft

Für den Einsatz von Automatisierungssystemen sind in der Entwicklung von Luftfahrtbauteilen Lasten- und Pflichtenhefte zu erstellen. Mit dem Lastenheft werden in dieser Forschungsarbeit die Forderungen an die Simulation oder auch Leistungen zur Herstellung von Strukturbauteilen festgelegt. Im Pflichtenheft wird die Planung zur Umsetzung der Anforderungen aus dem Lastenheft dokumentiert. Für eine ausführliche Beschreibung von Lasten- und Pflichtenheften sei auf die VDI/VDE 3694 [44] und DIN 69901 [45] verwiesen.

C) Spezifikation

In der Spezifikation werden die qualitativen Merkmalswerte von Produkten, Prozessen und Ressourcen festgelegt und quantifiziert. Produkte und Verfahren, für welche keine Beschreibung vorliegt, sind für die Untersuchung zu spezifizieren.

D) Versuchs- und Prüfplan

Im Versuchs- und Prüfplan (VPP) werden Zeitpunkt der Prüfung, der Prüfort, die zu prüfenden Merkmale, die Vorgehensweise und die für den Versuch benötigten Prüfmittel dargelegt.

F) Prüfmittelverwaltung und Überwachung

Für die Verwaltung und Überwachung der Prüfmittel aus F&E ist das Labor für Materialien und Prozesse (LMP) zuständig.

G) Prüfung

Alle produzierten Erzeugnisse der Prototypen von Front- und Back-End unterliegen einer 100% Prüfung. Versuchs- und Prüfpläne (VPP) zur Untersuchung der Prototypenfertigung im Rahmen dieser Arbeit liegen dem Anhang A zu Grunde.

H) Messabweichung

Abweichungen von Grob- (G) zu Feinplanung (F) und von Plan zu Ist (I) sind über einen längeren Zeitraum zu analysieren und in Form von Kennzahlen auszuwerten.

I) Fehlermeldung

Sofern bei der Qualitätsprüfung Abweichungen außer Norm und Toleranz auftreten, sind diese in Form einer Fehlermeldung (Q-Meldung) unter Verwendung von Ursachen und Fehlercodes zu dokumentieren. Bei einem Fehlerauftritt sind grundsätzlich entsprechende Maßnahmen zu ergreifen und die Risiken abzuwägen.

J) Fehleranalyse

Im Rahmen der Entwicklung und des Prototypenbaus eines Frameworks und einer H/C Boden- gruppe ist eine umfangreiche Analyse von Statistiken und Korrelationen auf Grund der geringen Stückzahl nicht möglich. Für die Serienfertigung bietet es sich an, eine „Failure Mode Effects & Analysis“ (FMEA) durchzuführen.

K) Qualitäts-Kontrollplan

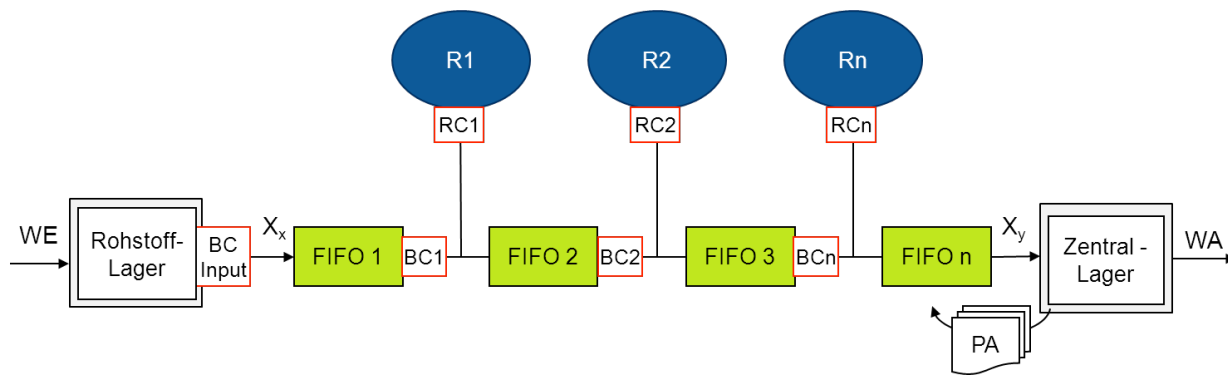
Im Qualitäts-Kontrollplan werden zulässige Qualitätsmerkmale und Grenzwerte für Produkte, Prozesse und Ressourcen aufgeführt.

7.3 Alternative Methoden zur Produktionsplanung und Steuerung

Mit dem Ziel der Realisierung eines automatisierten Produktionsablaufs zur Simulation und Herstellung von H/C Strukturbauteilen werden für die F&E alternative Methoden zur verbrauchsorientierten PPS angewendet.

A) Alternative 1

Bei dieser PPS-Steuerung werden die Speichervorgänge und Materialflussbewegungen der Ressourcen stetig kontrolliert und überwacht. In Anbetracht schwankender Nachfrage wird nach einem Produktionsauftrag (PA) eine definierte Menge an Rohmaterialien angefordert, damit diese produziert werden kann. Die Rohmaterialien werden im Wareneingang (WE) entgegen- genommen und im Rohmateriallager eingelagert, um weitere Anweisungen abzuwarten. Pufferspeicher werden an grundlegende Bedingungen, sog. Speicher Condition (BC) verknüpft, während entsprechende Arbeitssysteme an Ressourcen Condition (RC) gebunden sind. Demnach ist die erste BC an FIFO1 verknüpft und die zweite BC an FIFO2 usw. (siehe Abbildung 30).



BC - Buffer Condition
 FIFO - First In First Out – Puffer
 RC - Resource Condition
 PA - Produktionsauftrag
 WA - Warenausgang
 WE - Wareneingang

Abbildung 30 – Alternatives „Pull-Prinzip“ über sog. Speicher und Pufferbedingungen

BC und RC Bedingungen sind Vorgänge des *wait until*, wovon abhängt, wann Materialien und Erzeugnisse von einem Lager und Speicher zu einer Ressource und nach Bearbeitung in den folgenden Speicher bzw. das Erzeugnislager überführt werden sollen. Jede Ressource ist zur Bearbeitung mit Materialien zu versorgen, welche aus den entsprechenden FIFOs entnommen werden. Dies gelingt jedoch nur, solange diese einen Bestand aufweisen und/oder die Ressourcen R_n über freie Kapazitäten verfügen. Letzteres wird durch die RCs bestimmt. Über BCs werden schließlich die Bestände reguliert. Je nach Simulationssoftware sind BC Bedingungen zum Teil integrierte Attribute. Eine beispielhafte Ausführung der BC Logik lautet wie folgt: Zu Beginn wird die Speicherkapazität der Puffer auf eine definierte Größe $FIFO_Limit$ gesetzt. Mit der Speicherbeziehung wird daraufhin die Bestandsmenge eines Speichers abgezählt ($FIFO_n$ current loads) und mit den Erzeugnissen auf dem definierten Abschnitt zweier Speicher (C_FIFO_n) verrechnet. Auf dem Streckenabschnitt zu berücksichtigen sind Erzeugnisse, die bei der Bearbeitung anfallen als auch beim Transport zwischen Speicher und Ressource vorliegen.

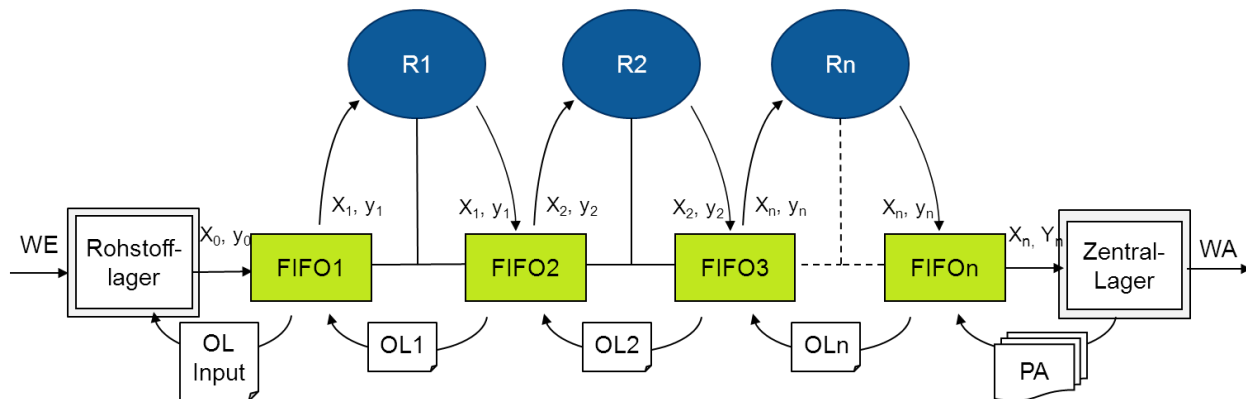
Wait until $R_n = 0$
 Wait until $FIFO_n \text{ current loads} + C_FIFO_n < FIFO_n_Limit$

Liegt die verrechnete Mengeneinheit (ME) unterhalb der definierten Mindestbestandsmenge des $FIFO_n_Limit$, so werden die Materialien und Erzeugnisse angefordert. Über einen Zähler kann die variable C_FIFO_n dann entsprechend erhöht bzw. vermindert werden [46].

B) Alternative 2

Über einen Bestellzyklus sollen die Bestände der Lager und Puffer geregelt werden. Gemäß Produktionsauftrag (PA) muss eine definierte Menge x_n vom Rohmateriallager angefordert werden, so dass die bestellte ME an fertigen Erzeugnissen produziert werden kann. Die Rohmaterialien sind vom WE anzunehmen und die fertigen Erzeugnisse entsprechend am WA des Erzeugnislagers abzugeben. Sofern ein Auftrag eingeht, wird bei jedem Speichervorgang der Vorgang *wait to be ordered* eingeleitet, wonach die Puffer den vorrangigen Auftrag abarbeiten. Nach diesem Vorgang wird die erste Bestellung der Oderlist (OL)_Input zum WE erfüllt. Für die

laufenden Aufträge werden nun die Bestelllisten OL_n der $FIFO_n$ initialisiert. Dabei wird zunächst eine Menge an X_n Einheiten gemäß PA angefordert und dem damit verbundenen Vorgang zur Abgabe- oder Auslieferung der Bestellmenge an fertigen Erzeugnissen dem WA vermittelt. Nachdem der PA initialisiert wurde, wird überprüft ob dieser abgearbeitet ist. Solange letzteres nicht erfüllt ist, wird eine Backorder an die vorhergehenden $FIFO$ -Speicher erstellt. Dadurch wird eine Bestellung ausgelöst und die Materialien und Erzeugnisse zur Bearbeitung an die daran anknüpfenden Ressourcen vermittelt (siehe Abbildung 31).



$FIFO_n$ - First In First Out – Puffer
 OL - Orderlist
 PA - Produktionsauftrag

WA - Warenausgang
 WE - Wareneingang

Abbildung 31 – Alternatives „Pull-Prinzip“ über sogenannte Bestell- bzw. Orderlisten

Soweit nun die Bestelllisten zum ersten Auftrag initialisiert und abgearbeitet werden, müssen die $FIFOs$ für alle Folgeaufträge auf eine definierte Mindestbestandmenge ausbalanciert werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Initialisierungsvorgang der definierten x_n den ersten Bestellvorgang mit einbezieht.

Order x_0 loads from OL_Input to P_start
 In case order not filled backorder on OL_Input

Für alle weiteren Speicher gilt:

Order x_n loads from OL_FIFO_n to P_R_n
 In case order not filled backorder on OL_FIFO_n

Damit die Pufferbestände in einer definierten Schwankung reguliert werden, wird daraufhin eine Menge an y_n Einheiten aus einem $FIFO_n$ auf einer OL_n ausgelöst, wenn eine ME von y_n einen $FIFO_n$ bzw. das Erzeugnislager verlässt (x = Mengeneinheit des initialisierten Auftrags, y = Mengeneinheit(en) der Folgeaufträge bei n Schleifen) [46].

7.4 Methoden der Programmierung

Die Programmabläufe von Arbeitssystemen können grundsätzlich über die Methoden der Online- und Offline-Programmierungen festgelegt werden. Für eine ausführliche Beschreibung der Roboterprogrammierungen siehe [39]. Zum Einrichten von Roboter und Achsen in der Fertigungszelle legt ein Expertenteam die Grundeinstellungen mit der Playback-Programmierung fest. Im Testbetrieb und der Prototypenfertigung ist das Teach-In Verfahren vorgesehen. Über ein Hand-Programmiergerät (HPG) werden die geplanten Positionen abgefahren und von einem technischen Steuerungssystem abgespeichert. Mit der Text-Offline-Programmierung wird die PPS für den Fabrikbetrieb sowie Bahnkorrekturen von Roboter und Prozessparameter von Roboterwerkzeugen parametrisiert. Für die Simulation des Fertigungs- und Fabrikbetriebs findet die Graphische Offline-Programmierung Verwendung. Der Produktionsfluss und ergonomische Aspekte lassen sich unter Zuhilfenahme von Softwaretools wie dem CAD graphisch analysieren.

7.5 Methoden zur Kosten- und Investitionsrechnung

Zur Planung von Produktionsalternativen sind Investitionen folgender Fälle relevant:

Fall A: Die Investitionsvolumen aus Fall A umfassen die Summe der Kosten an Ressourcen für Maschinen und Anlagen, welche für Neuinvestitionen anfallen. Neu heißt, dass die Maschinen und Anlagen zum Anschaffungspreis neu beschafft werden.

Fall B: In diesem Fall werden die Investitionen aus Fall A mit den ermittelten Belegungen aus dem Projekt o.a. Produktionsprogramm verrechnet.

Fall C: Die Investitionen werden mit einem idealisierten Kostensatz verrechnet. Dieser Kostensatz bildet sich aus dem Verhältnis der geplanten Belegung einer Ressource zur aktuellen Auslastung der jeweiligen Ressource im Fabrikbetrieb.

Für die Kosten- und Investitionsrechnung bietet es sich an, statische und dynamische Verfahren zu verwenden. Alternative Verfahren hierzu siehe [47].

A) Statische Verfahren

Die statische Investitionsrechnung dient zur Beurteilung von Sachinvestitionen auf Basis der Kosten und Erlöse innerhalb einer definierten Periode. Betriebliche Abhängigkeiten, wie bspw. der Nachfrage, werden nicht berücksichtigt. Sofern für die geplanten Investitionsobjekte repräsentative Investitionswerte vorliegen, kann eine Abschätzung der Vorteilhaftigkeit von Produktionsalternativen getroffen werden, vorausgesetzt die Investitionsobjekte sind abgrenzbar und gleichartig [48]. Ferner werden bei der statischen Investitionsrechnung keine steuerlichen Aspekte berücksichtigt [49]. Für die wirtschaftliche Betrachtung und Bewertung der Kosten wird die Kostenvergleichsrechnung herangezogen. Die Kostenvergleichsrechnung begrenzt sich auf eine Gegenüberstellung der Kosten und lässt die Erlösseite außen vor [47]. Eine gute Investitionsalternative ergibt sich, wenn die Kosten relativ gesehen gering ausfallen, vorausgesetzt die mengenmäßigen Leistungen der Alternativen sind gleich hoch [48]. Die Gesamtkosten bezogen auf eine Periode beinhalten die Summe der variablen und fixen Kosten. Die Formel hierzu lautet:

$$K_{\text{ges}}(t) = \sum K_v(t) + \sum K_f(t)$$

Die variablen Kosten entsprechen den Herstellkosten. Diese setzen sich zusammen aus den Material-, Fertigungs- und sonstigen Kosten. Fixkosten umfassen Fremdkapitalkosten, kalku-

latorische Abschreibung und kalkulatorische Zinsen. Deren Berechnung erfolgt im ersten Jahr unterschiedlich zu den Folgejahren. Abschreibungen für geringwertige Güter werden dabei nur einmalig zum Produktionsstart vorgenommen. Die Berechnung der Fremdkapitalkosten zu Beginn der Produktion lautet:

$$FkK_{1. \text{ Jahr}} = \frac{(\sum AK_{AfA} + \sum AK_{GWG}) * Fk_Anteil}{2} * i_{FK}$$

Im ersten Jahr anfallende kalkulatorische Zinsen werden wie folgt ermittelt:

$$kalk.Z_{1. \text{ Jahr}} = \frac{(\sum AK_{AfA} + \sum AK_{GWG}) * (1 - Fk_Anteil)}{2} * i_{kalk}$$

Die Formel zur Berechnung der Fremdkapitalkosten für alle Folgejahre lautet:

$$FkK_{\text{Folgejahre}} = \frac{\sum AK_{AfA} * Fk_Anteil}{2} * i_{FK}$$

Für die ab dem zweiten Jahr anfallenden kalkulatorischen Zinsen ist folgende Formel anzuwenden:

$$kalk.Z_{\text{Folgejahre}} = \frac{\sum AK_{AfA} * (1 - Fk_Anteil)}{2} * i_{kalk}$$

Die kumulierten Gesamtkosten sind folgendermaßen zu berechnen:

$$K_{kum}(t) = \sum K_{ges}(t)$$

Über die Gesamtkosten und die Technische Planzahl (TPZ) werden die Stückkosten wie folgt ermittelt:

$$\frac{K}{Stk}(t) = \frac{K_{ges}(t)}{TPZ(t)}$$

B) Dynamische Verfahren

Bei den dynamischen Investitionsrechenverfahren nimmt, im Gegensatz zu den statischen Verfahren, der Kapitalzins Einfluss auf die Investitionsrechnung. Mit dem Kapitalzins kann sich die Vorteilhaftigkeit von Investitionsalternativen ändern. Ferner sind dynamische Verfahren durch die Betrachtung der gesamten Planungsperiode zu charakterisieren. Sie beziehen sich auf die gesamte Laufzeit und berücksichtigen neben den Auszahlungen auch die Einzahlungen [48].

Des Weiteren werden bei der dynamischen Investitionsrechnung auch steuerliche Aspekte, wie die der Körperschaftssteuer, berücksichtigt. Von allen dynamischen Verfahren ist die Kapitalwertmethode die einzige Methode, welche auf die Maximierung des Endwertes abzielt [47]. Eine

Entnahmemaximierung über einen definierten Zeitraum hinweg bei gegebenem Restwert, wie sie bspw. bei der Annuitätenmethode oder der Methode zum internen Zinsfuß vorherrscht, ist nicht Gegenstand der Untersuchung. Folglich wird die Kapitalwertmethode für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Erwägung gezogen. Die Kapitalwertmethode wird in der Betriebswirtschaftslehre auch als „Discounted Cashflow“ bezeichnet. Das heißt die jährlichen Zahlungsströme werden zum Zeitpunkt der anfallenden Investitionen diskontiert. Der Kapitalwert entspricht dabei der Summe, über die Planlaufzeit generierten Barwerte. Diese werden wie folgt ermittelt:

$$\text{Barwert (BW)} = \text{Zahlungsstrom} \times \text{Faktor der Abzinsung}$$

Der Zahlungsstrom kann in Form von Gewinn (G) oder Verlust (V) vorliegen. Dieser berechnet sich wie folgt:

$$\text{Zahlungsstrom (G bzw. V)} = \frac{VP}{Stk} * TPZ - MK - FK - sK - FkK - SL$$

Die Formel zur Berechnung des Abzinsungsfaktors lautet:

$$\text{Faktor der Abzinsung} = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

7.6 Softwaretools

Bisher haben Planungsmanager in der F&E von H/C Strukturbauteilen überwiegend Tabellenkalkulationsprogramme und nur selten Softwaretools zur Prozess- und Arbeitsplanung eingesetzt. Für eine strukturierte Arbeitsweise sind Fabrik- und Produktionsplanungstools jedoch notwendige Mittel, mit denen die Aktivitäten aus dem Engineering erzielt und die Kunden des IPP Netzwerks über den Planungsfortschritt informiert werden. Dynamische Produktionsabläufe werden kaum und wenn dann zur Untersuchung ergonomischer Aspekte und Vorgänge analysiert. Mit der Verwendung von sowohl statischen als auch dynamischen Prozess- und Fabrikplanungstools sollten künftig Produktionsalternativen und Programme von H/C Strukturbauteilen geplant, gesteuert und optimiert werden. Die benötigten Planungstools des IPP Netzwerks in F&E sind im Folgenden beschrieben.

A) Virtual Product Management Datenbank

Mit der VPM Datenbank werden digitalisierte Zeichnungen, CAD Daten, validierte Produktdaten und Produktstrukturen angelegt, verwaltet und dem Planungsnetzwerk zur Verfügung gestellt. Weitere Informationen zur Tool – Architektur und VPM Datenbank siehe [50].

B) Prozess-Analyse Tool

Das Prozess, Analyse Tool (PAT) ist ein Tool in F&E bei Airbus Helicopters zur Analyse von Prozessen und Prozessketten der Fertigung von Preform-Strukturen und von Vorgängen der Lieferkette. Dazu bietet das PAT Tool die notwendige Flexibilität in der Planung zur Gestaltung von Erzeugnisstrukturen und Fertigungsabläufen. Mit dem PAT Tool werden Klassifizierungen innerhalb der Produkterstellung vorgenommen. Aus diesen werden fertigungsspezifische

Produktstrukturen abgeleitet. Die Produktklassen sind für die Herstellung von Faserbauteilen auszulegen und lassen sich dabei vom Groben bis hin zum Detail planen. Ferner unterstützt das Gesamtpaket des PAT-Tools die Berechnung der Material-, Fertigungs- und Herstellkosten von Bauteilen aus FVW. Ein wesentlicher Teilbereich des PAT dient der Analyse von Infiltrationsvorgängen. Vereinzelte Vorgänge werden zu Prozessen zusammengefasst und entsprechende Planwerte der Prozesszeiten ermittelt. Vorgänge und Prozesse sind dazu an die fertigungsbezogene Produktstruktur anzupassen. Das PAT Tool untergliedert die Bereiche:

- 1) Lieferkette (a), Faserbauteil (b)
- 2) Infiltrationsprozesskette.

Anmerkung:

Zu 1a) Eine spezifische Auswahl an Materialflussprozessen der Lieferkette ist definierten Kostenstrukturen für Material, Personal und Betriebskosten gegenübergestellt.

Zu 1b) Erstellt werden Produkte nach folgender Klassifizierung: Textile Halbzeuge, Tailored Reinforcements (TRs), Sub Preforms (SPs) und Final Preforms (FPs).

Zu 2) Das Kalkulationsmodell der Prozesskette vereint Kostenstrukturen der Lieferkette, Werkzeug, Matrixaufbereitung, Qualitätssicherung und Infiltration.

C) Digitale Fabrikplanungstools

Für die Planung und Simulation der digitalen Fabrik für das Front- und Back-End bietet es sich an, Softwaretools wie DELMIA von Dassault Systems und das Teamcenter Tecnomatrix von Siemens zu verwenden. Von der Entwicklung bis zum Serienanlauf unterstützen und überprüfen die digitalen Modelle von DELMIA und Tecnomatrix die Produktionsplanung. Digitale Modelle sind in Abbildung 32 dargestellt.

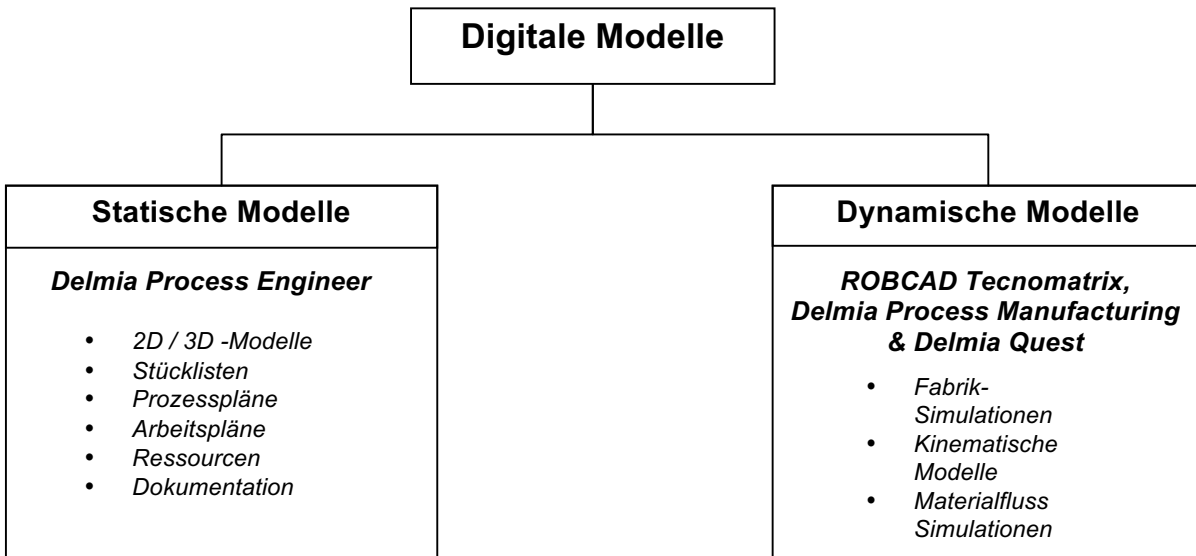


Abbildung 32 – Gliederung digitaler Prozess- und Fabrikplanungsmodelle

Im Folgenden sind die integrierten Planungstools zur F&E von H/C Strukturbauteilen erläutert. Informationen über digitale Fabrikplanungstools erhalten Sie auch in [51].

a) DELMIA Process Engineer (DPE)

DELMIA DPE ist ein Softwaretool zur Planung und Analyse von Materialflussprozessen, vorwiegend im Bereich der Arbeitsplanung. Die Software DPE basiert auf einem PPR-Datenmodell.

Über logische Verknüpfungen der PPR-Daten lassen sich Produktstrukturen, Prozessketten und Materialflusspläne der Produktionsmodelle statisch ableiten. Des Weiteren unterstützt DPE die zeitliche Ablaufplanung sowie die Kosten- und Investitionsplanung. Darüber hinaus bietet DELMIA DPE dem Anwender eine strukturierte Benutzeroberfläche. Die folgende Abbildung 33 zeigt die Benutzeroberfläche zu DELMIA DPE in der Übersicht.

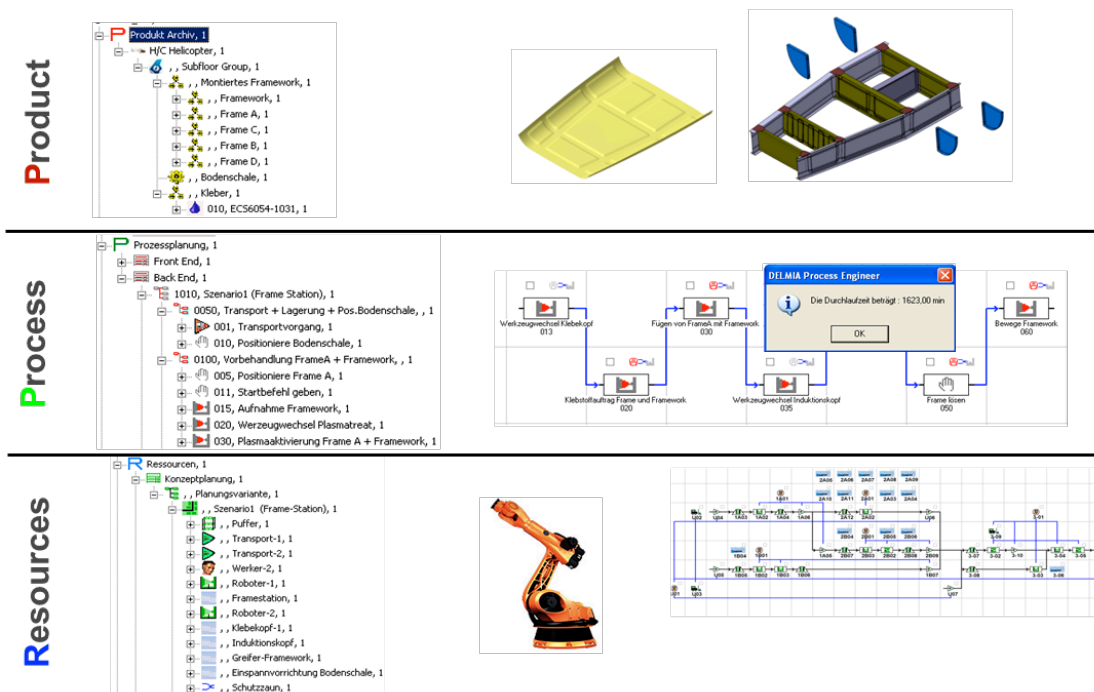


Abbildung 33 – Oberflächendarstellung des DPE Prozessplanungstools am Beispiel von INSTRUKT

b) Robcad

Tecnomatrix Robcad ist eine Simulationssoftware, mit der automatisierte und robotergestützte Prozesse in einer virtuellen 3D Umgebung entwickelt, programmiert, simuliert und validiert werden können. Vom Entwurf bis zur Umsetzung lassen sich digitale Mock-Ups für ganze Fertigungszellen planen, Prozesse optimieren und Zykluszeiten berechnen [52]. Die Robcad Simulationssoftware ermöglicht zugleich ergonomische Untersuchungen automatisierter Arbeitsabläufe wie die der robotergestützten Handhabung.

c) DELMIA Process Manufacturing (DPM)

Die Software DELMIA V5 DPM vereint das Design-Engineering mit der Prozess- und Fabrikplanung für industrielle Anwendungen. DELMIA V5 DPM dient dabei der Planung und virtuellen Darstellung des Fabriklayouts und der darin eingebundenen Ressourcen. Die erzeugten Modelle lassen sich in 3D Darstellung vorwiegend dynamisch abbilden. DPM bietet dazu Lösungen in der Planung und Gestaltung von Arbeits- und Bewegungsabläufen mit digitalen Ressourcen unter Berücksichtigung von ergonomischen Leitlinien. DPM integriert eine Schnittstelle zum CAD, über welche Produktdaten eingelesen und erstellt werden können.

d) DELMIA Quest

Das Planungstool DELMIA QUEST dient der Entwicklung und Analyse von Material- und Informationsflüssen in einer visuell darstellbaren 3D Umgebung. Die Software Quest liefert dazu eine Simulationsplattform zur Planung und Analyse von Produktion, Logistik und zugehörigen Merkmalen. Neben physikalischen Modellstrukturen, dem CAD, zahlreichen Logikanwendungen und Programmierfunktionen in Form strukturierten Texts, bietet Quest eine umfangreiche Entwicklungsumgebung an PPS-Funktionen und PPR-Konfigurationen zur Erstellung, Validierung und Optimierung von dynamischen Material- und Produktionsflüssen (siehe Abbildung 34-35).

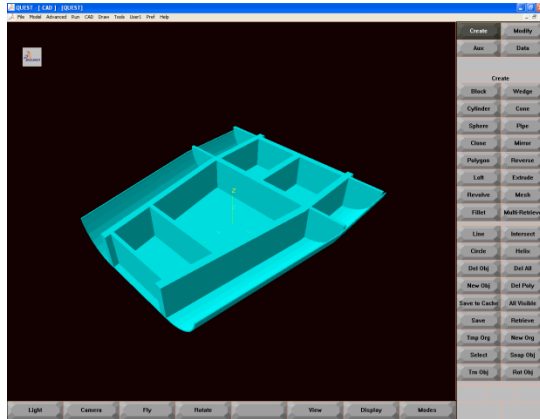


Abbildung 34 – CAD Modell zur INSTRUKT Bodengruppe aus DELMIA QUEST

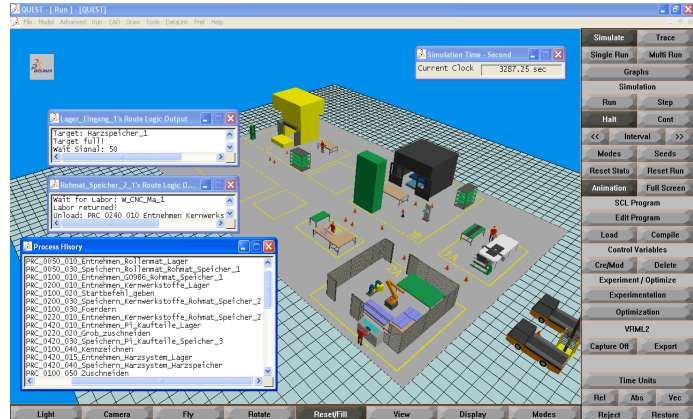


Abbildung 35 – Simulationsmodell zur Herstellung von H/C Strukturbauteilen mit DELMIA QUEST

e) PPR/PPS-Link

Über eine definierte Schnittstelle kann mit dem neu entwickelten PPR/PPS-Link auf PPR und PPS Plandaten zurückgegriffen werden. Mit dem PPR/PPS-Link lassen sich Geometriedaten, Arbeitsplandaten und Prozessabläufe in aufbereiteter Form aus MS Excel in Quest überführen, was den Planungsaufwand bei Änderungen und Anpassungen erheblich vereinfacht. Der PPR/PPS-Link reduziert den manuellen Planungsaufwand und trägt damit zu einer vernetzten und transparenten Planung bei.

7.7 Tool – Architektur

Über die Tool-Architektur wird die ganzheitliche Vernetzung der Planungstools zur Erstellung von Produktionsalternativen der IPP in F&E dargestellt. Mit der IPP Tool-Architektur und den integrierten Planungstools sind die folgenden Ziele gesetzt:

- Planung, Optimierung und Analyse von Produktionsabläufen
- Strukturierung von PPR/PPS- Elementen
- Verbesserung der Planungsqualitäten
- Reduzierung von Planungs- & Entwicklungszeiten
- Flexible Prozess- und Produktionsgestaltung
- Unterstützung bei der Kosten- und Investitionsplanung
- Frühzeitiges Erkennen möglicher Risiken
- Nachvollziehbarkeit bei Anpassung und Änderung von PPR/PPS-Beziehungen
- Vermeidung von Doppelarbeit durch kollektive Prozessplanung

Neben den bereits in der Serienprogrammplanung bei Airbus eingesetzten Planungstools (VPM, DPE und DPM) bietet es sich für die F&E an, zur Untersuchung von Produktionsalternativen das PAT, Robcad, DELMIA QUEST und den PPR/PPS-Link in die Tool-Architektur zu integrieren. In der Tool-Architektur (Abbildung 36) sind die Ein- und Ausgabedaten in Form von Tabellen oder anderweitigen Dateiformaten mitaufgeführt.

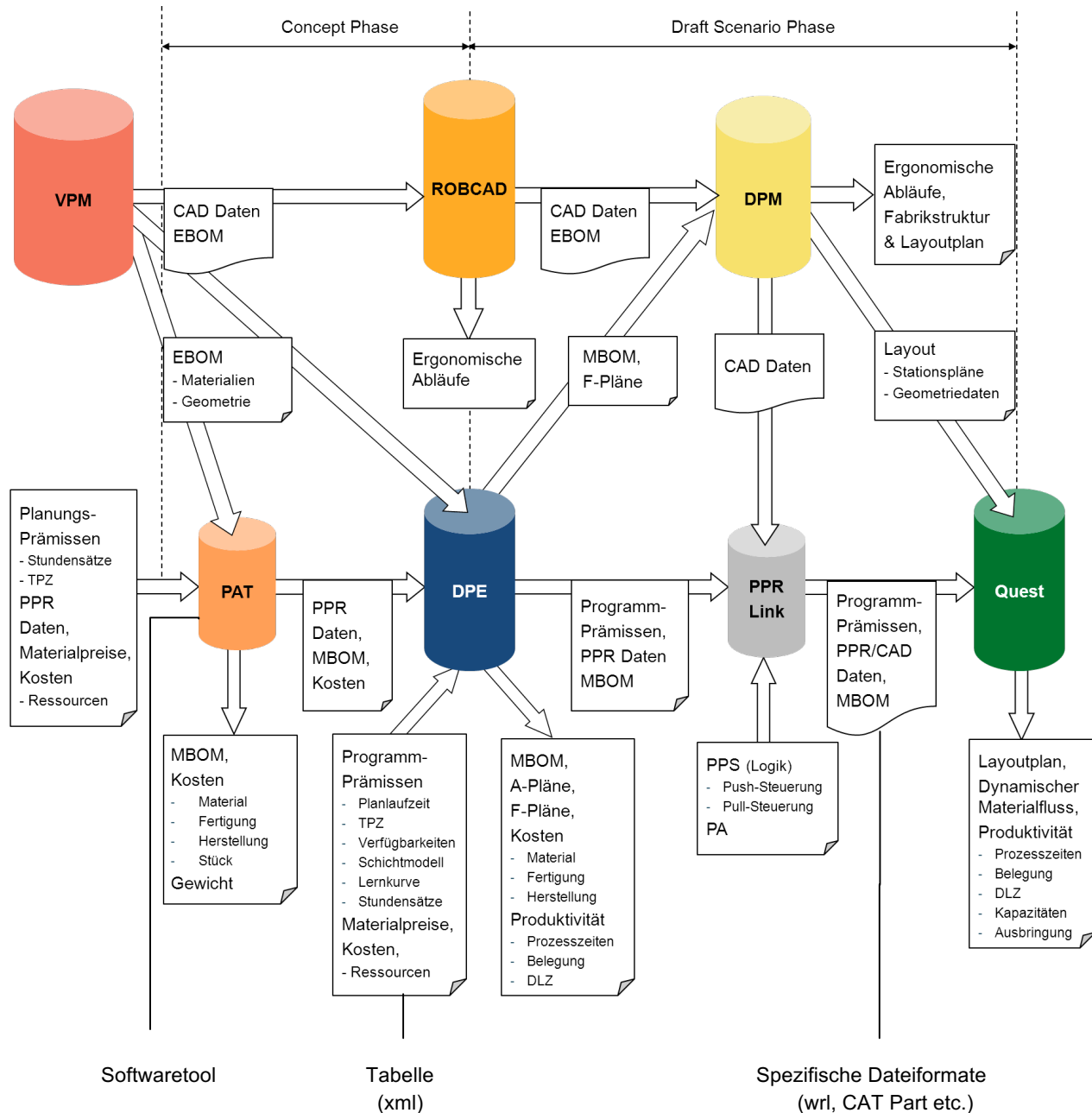


Abbildung 36 – IT Tool-Architektur der Integrierten Produktionsplanung in F&E

8 Anforderungsmerkmale

Die wesentlichen Anforderungsmerkmale zur Definition und Bewertung von Prozessketten sind:

- Qualität (Kapitel 8.1)
- Kosten, Produktivität und Wirtschaftlichkeit (Kapitel 8.2)
- Flexibilität (Kapitel 8.3)
- Sicherheit & Zuverlässigkeit (Kapitel 8.4)
- Ergonomie (Kapitel 8.5)
- Sonstige Anforderungsmerkmale (Kapitel 8.6)

8.1 Qualität

Die Qualitätsmerkmale zur Herstellung des Frameworks beinhalten Maß-, Form- und Lageabweichung als auch prozessspezifische Toleranzen. Sämtliche Abweichungen dürfen definierte Grenzen, welche von Design, Konstruktion, Statik und Fertigung vorgegeben werden, nicht überschreiten. Bedingt durch die Fertigung können bei der Herstellung der Strukturbauteile Abweichungen zu der in der technischen Zeichnung festgelegten Gestalt auftreten.

Durch automatisierte Fertigungsprozesse werden die Toleranzabweichungen minimiert und reproduzierbar gemacht.

DIN ISO 2768 Blatt 1 und 2: behandeln Allgmeintoleranzen für Form, Lage, Längen- und Winkelmaße [53, 54].

DIN ISO 1101: umfasst geometrische Tolerierungen von Form, Richtung, Ort und Lauf [55].

A) Qualitätsmerkmale beim Front-End

Die qualitativen Anforderungen an die automatisierte Herstellung des INSTRUKT Frameworks sind nachfolgend beschrieben:

a) Formgenauigkeit der hergestellten Frameworkstruktur

Die Formgenauigkeit beschreibt den Grad der Übereinstimmung zwischen der geforderten und der angestrebten Form der Frameworkstruktur. Aufgrund der Prototypenfertigung für das Framework liegen zunächst keine Formgenauigkeiten vor. Die Formgenauigkeiten entsprechen diesbezüglich Erwartungswerten, deren zul. Abweichungen in die Bauunterlage einzupflegen sind.

b) Lagegenauigkeit der Preforms in der Werkzeugvorrichtung

Die Lagegenauigkeit der erstellten Preforms in der Werkzeugvorrichtung wird bezeichnet als der Grad der Übereinstimmung zwischen der geforderten und der angestrebten Lage der Preforms in der definierten Form. Die Lagegenauigkeit ist bestimmt durch Richtung, Ort und Laufrichtung. Die aus F&E angestrebten Abweichungen zum Lagenversatz der Preforms liegen bei $\pm 1\text{mm}$. Der zul. Winkelversatz entspricht $\pm 2^\circ$ [56]. Maximal zul. Abweichungen sind vom Design und der Statik festzulegen und in den Bauunterlagen zu pflegen.

c) Toleranzeinhaltung beim Zuschneiden

Die Toleranzeinhaltung beim Zuschneiden ist ein Qualitätsmerkmal, das beschreibt, ob die Zuschnitte der Einzellagen nach allen erwarteten Anforderungen in den Grenzen eingehalten werden können. Ein üblicher Wert für die zul. Abweichung der Zuschnitte für Kohlefaserlagen liegt bei $\pm 1\text{mm}$. Die Wiederholgenauigkeit beim Materialzuschnitt ist den Maschinenspezifikationen zu entnehmen.

d) Toleranzeinhaltung beim Drapieren

Dieses Qualitätsmerkmal beschreibt, ob die Prozesse zum Ablegen und Umformen von Halbzeugen bei der Herstellung von FVW Preforms den vordefinierten Anforderungen entsprechen. In den Bauunterlagen vorgegebene Faserrichtungen beim Laminieren dürfen eine max. zul. Abweichung von $\pm 5^\circ$ nicht überschreiten [57]. Zulässig sind Temperaturabweichungen von $\pm 15^\circ\text{C}$. Diese Angabe beruht auf der Materialspezifikation des Spunfab Binders. Beim automatisierten Pick & Drape ist eine zul. Temperaturtoleranz von $\pm 5^\circ\text{C}$ anzustreben [56]. Die Temperaturgenauigkeit beim Pick & Weld ist abhängig von Druck und Amplitude. Für die Verfahren des Pick & Weld und des Single Diaphragma liegen keine Angaben vor. Die Temperaturgenauigkeit beim Heißbügeln entspricht $\pm 3^\circ\text{C}$ [58].

e) Toleranzeinhaltung beim RTM-Prozess

Bei der Durchführung der Integralbauweise zur Herstellung des INSTRUKT Frameworks müssen die erforderlichen Vorgänge des RTM-Prozesses in geregelten Zyklen verlaufen. Die Einhaltung definierter Prozessgrößen für Druck und Temperatur ist dabei maßgeblich. Bestimmende Qualitätsmerkmale zum RTM-Prozess siehe [59].

f) Toleranzeinhaltung beim Autoklavzyklus und Montage

Zul. Toleranzen zur Herstellung von Strukturbauteilen im Autoklavzyklus beziehen sich auf die Parameter Druck und Temperatur [60]. In der Montage des INSTRUKT Frameworks zul. Abweichungen sind unter den Qualitätsmerkmalen zur Toleranzeinhaltung beim Shimmen/Kleben und Fügen zum Back-End aufgeführt.

g) Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit ist bestimmt über die Produktion von Gleichteilen. Gleichteile haben zul. Produktmerkmale aufzuweisen. Die Produktmerkmale von Faserverbundstrukturen beziehen sich hierzu auf spezifizierte Materialien, Materialeigenschaften, Form, Dimension, Oberflächengüte und dem zulässigen Fehler. Gefertigte Halbzeuge und Strukturbauteile dürfen eine Fehler率 innerhalb vorgegebener Toleranzen aus der Bauunterlage und entsprechenden Normen nicht überschreiten.

$$\begin{aligned} \text{Fehlerrate} &= \frac{\text{Anzahl fehlerhafte Teile}}{\text{Anzahl gefertigte Teile}} \\ \text{Halbzeuge} &< \frac{1}{1000} \\ \text{Preforms} &< \frac{1}{500} \\ \text{Preform - Profile} &< \frac{1}{50} \\ \text{Framework} &< \frac{1}{100} \end{aligned}$$

Anmerkung:

Angaben zur Fehlerrate sind abgeschätzte Zielvorgaben.

h) Messbarkeit

Damit nachweislich vorgegebene Prozess- und Bauteiltoleranzen eingehalten werden können, sind unter angeforderter Messgenauigkeit geeignete Messgeräte auszuwählen.

Eine Unterteilung der Messungen kann wie folgt vorgenommen werden:

- einmalige Messungen
 - FAI (First Article Inspection)
 - FAQ (First Article Qualification)
 - Sonstige
- wiederkehrende Messungen
 - Serienprüfungen

Die Messungen erfolgen ausschließlich gemäß Prüfplan.

B) Qualitätsmerkmale beim Back-End

Die qualitativen Anforderungsmerkmale an die automatisierte Montage der Bodengruppe sind im Folgenden erläutert.

a) Formgenauigkeit der hergestellten Bodengruppe

Diese beschreibt den Grad der Übereinstimmung zwischen der geforderten und der angestrebten Form der Struktur der Bodengruppe. Die Formgenauigkeit der hergestellten Bodengruppe wird ermittelt durch den Abgleich der geforderten zu den tatsächlich gemessenen Formgeometriedaten zuzüglich des zul. Messfehlers. Zul. Formgenauigkeiten sind in die Bauunterlagen einzupflegen.

b) Lagegenauigkeit der Montageteile in den Montagevorrichtungen

Die Lagegenauigkeit der Montageteile in den Füge- und Montagevorrichtungen wird bezeichnet als der Grad der Übereinstimmung zwischen der geforderten und der angestrebten Lage der Teile in der definierten Form o.a. Vorrichtung. Die Lagegenauigkeit ist bestimmt durch Richtung, Ort und Laufrichtung.

c) Toleranzeinhaltung bei der Oberflächenvorbehandlung

Bei der Oberflächenvorbehandlung der Montageteile muss die Einhaltung spezifizierter Toleranzen gewährleistet werden. Der vorgesehene Abstand zwischen dem Tool Center Point (TCP) der Plasmadüse und der zu behandelnden Bauteiloberfläche darf eine zulässige Toleranz von $\pm 1\text{mm}$ nicht überschreiten [61]. Ferner darf der tatsächlich gemessene Anstellwinkel vom TCP des Funktionskopfes zur Behandlungsoberfläche mit nicht mehr als $\pm 3^\circ$ vom geplanten Anstellwinkel abweichen [62].

d) Toleranzeinhaltung beim Shimmen/Kleben

Es ist vorgesehen, dass die Fügeflächen ausreichend mit Klebstoff benetzt werden. Bei der Montage der Strukturbauteile ist die Bearbeitung mit einem weichen Shimmstoff vorgesehen. Gemessene Spaltmaße der Verbindungsstellen bei der INSTRUKT Bodengruppe sollten im Bereich von zirka 0,3-0,8 mm liegen. Die zulässige Toleranz des Anstellwinkels zur Klebedüse liegt bei $\pm 3^\circ$. Der vorgesehene Abstand zwischen dem TCP der Klebedüse und der

Behandlungsoberfläche darf eine zul. Toleranz von $\pm 1\text{mm}$ nicht überschreiten [62]. Die zul. Abweichung der Solltemperatur des Klebstoffes in der Klebedüse darf max. $\pm 1\text{ K}$ betragen. Bei der Raupenquerschnittsfläche des applizierten Klebstoffes ist die zul. Abweichung von $\pm 5\text{mm}$ maßgebend. Ferner hat die Dosierung von Shimmstoffen unter vorgegebener Toleranz von $\pm 1\text{ml/s}$ zu erfolgen. Die Abweichung der nominalen Raupenquerschnittsfläche darf max. $\pm 5\%$ betragen [63].

e) Toleranzeinhaltung beim Fügen

Der auf die Fügeteile aufgetragene Shimm-/Klebstoff muss unter definiertem Anpressdruck und darf keinesfalls zuvor aushärten. In jedem Fall ist sicherzustellen, dass die Fügeteile an den vordefinierten Fügestellen eine feste Verbindung eingehen. Beim Fügen der Bodengruppe sind hohe Kräfte erforderlich bis der definierte Fügespalt in seinen Grenzen eingehalten wird.

Die Füge- bzw. Anpresskraft erfolgt diesbezüglich Kraft-Weg gesteuert. Die zul. Fügekraft bei der Montage der Bodengruppe liegt bei rund 10 kN [64].

f) Toleranzeinhaltung beim Induktionshärten

Der zul. Toleranzbereich beim induktiven Aufheizen von CFK Einzellaminaten mit bis zu 3mm Dicke ist für Heizraten von bis zu 20K/min auf $\pm 3\text{K/min}$ bestimmt [65]. Die zul. Toleranz zum geforderten Anstellwinkel beim induktiven Härten liegt bei $\pm 3^\circ$. Der vorgesehene Abstand zwischen dem TCP des Induktors und der zu behandelnden Bauteiloberfläche darf eine zul. Toleranz von $\pm 1\text{mm}$ nicht überschreiten [62].

g) Reproduzierbarkeit

Neben den Anforderungen an die Reproduzierbarkeiten beim Front-End gilt für die Fehlerrate bei H/C Bodengruppen folgende Zielvorgabe.

$$\text{Bodengruppe} < \frac{1}{250}$$

h) Messbarkeit

Bei den Modellen der Fügesubstrate wird eine Genauigkeit von $0,05\text{mm}$ angestrebt. Die angestrebte Genauigkeit für die errechnete Fügespaltstärke aus den Fügesubstraten liegt bei $0,1\text{mm}$, während die angestrebte Genauigkeit für die nach dem Fügen gemessene Fügespaltstärke $0,05\text{mm}$ beträgt. Ferner gelten allgemeine Angaben zur Messbarkeit wie beim Front-End. Sämtliche Messungen erfolgen gemäß Prüfplan.

8.2 Kosten, Produktivität & Wirtschaftlichkeit

In diesem Kapitel sind die Faktoren der Kosten, Produktivität und Wirtschaftlichkeit dargelegt.

A) Kosten und Investitionen

Mit der IPP in F&E ist beabsichtigt, die Kosten in der Planung und Realisierung von Produktionsalternativen so gering wie möglich zu halten. Im Rahmen der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsanalyse (siehe Kapitel 12) werden für ausgewählte Produktionsalternativen die Bestandteile der Kosten zueinander ins Verhältnis gestellt und verglichen. Die Kosten werden gewöhnlich in

der Einheit der Währungsunion oder des Landes berechnet, in dem die Produkte herzustellen sind.

a) Materialkosten

Die Berechnung der Materialkosten (MK) erfolgt auf Basis folgender Planwerte:

- Materialverbräuche
- Materialkostensatz
- Produktionszeitraum
- Technische Planzahl / Produktionsrate
- Materialgemeinkosten (MGK) -Zuschlagssatz
- Periodisch anfallende Preissteigerungen
oder auch inflationärer Zinsaufschlag

Anmerkung:

MK umfassen die Kosten für Rohmaterial, Halbzeuge und C-Teile.

In den MGK enthalten sind Kosten für Lieferung, Wareneingangsprüfung, Transport und Lagerung.

b) Fertigungskosten

Für die Berechnung der Fertigungskosten (FK) können zwei Alternativen herangezogen werden.

Alternative 1:

Die Fertigungseinzelkosten sind Fertigungslöhne.

In den Fertigungsgemeinkosten (FGK) enthalten sind Kosten für:

- Hilfs- & Betriebsstoffe
- Arbeitssysteme
- Hilfsmittel und Vorrichtungen
- Messsysteme
- Speicher- & Transportsysteme
- Abfall- & Entsorgungssysteme
- Kosten für Integrationsmaterial

Alternative 2

Die Berechnung der FK erfolgt über einen definierten Stundensatz, der den Anteil an FGK für Personal und Ressourcen enthält.

Planwerte zur Berechnung der FK sind:

- Fertigungszeiten (manuell und maschinell)
- Stundensatz
- Produktionszeitraum
- TPZ o.a. Produktionsrate
- Faktoren der Lernkurve
- Periodisch anfallende Lohnsteigerungen

c) Herstellkosten

Die Herstellkosten (HK) werden aus der Summe der periodenabhängigen Material- und Fertigungskosten gebildet. In der Kostenplanung bezieht sich die Kostenrechnung jedoch nicht auf den vergangenen Wirtschaftszeitraum, sondern auf die geplanten Wirtschaftsperioden.

In den zur Herstellung der H/C Bodengruppe tatsächlich anfallenden Kosten sind enthalten:

- Materialeinzelkosten
- Materialgemeinkosten
- Fertigungseinzelkosten
- Fertigungsgemeinkosten
- Sondereinzelkosten der Fertigung
- Verwaltungsgemeinkosten
- Vertriebsgemeinkosten
- Sondereinzelkosten des Vertriebs

Anmerkung:

Kosten, welche als Neuinvestitionen beim Aufbau und/oder Umbau anfallen, können mit einem Verrechnungssatz umgelegt und in den Fertigungsgemeinkosten berücksichtigt werden. Die während der Produktion anfallenden Kosten zur Qualitätsprüfung sind Bestandteil der FGK.

Nicht berücksichtigt sind Kosten zur Projektumlage für bspw. Fehleranalyse, Fehlerbehebung, Ausschuss, interne Audits, FAI, FAQ, Zertifizierung, Wartung- & Instandhaltung, Abfall & Entsorgung, Schulung etc.

d) Herstellkosten pro Stück

Die Herstellkosten bezogen auf eine Losgröße werden ermittelt aus dem Verhältnis der Summe der periodisch anfallenden HK zur geplanten Stückzahl.

e) Stückkosten

Die Berechnung der Stückkosten ist in Kapitel 7.5 dargelegt.

B) Produktivität

Es werden die Zeitmodelle aus den Richtlinien der REFA und VDMA 66 412 angewendet [66]. Eine Unterteilung ist vorzunehmen gemäß:

- a) Planzeiten
- b) Ist-Zeiten

Die Planzeiten werden von den technischen Vorgaben der Maschinendatenblätter abgeleitet und, falls nicht vorhanden, ermittelt. Die Ist-Zeiten sind bei entsprechenden Versuchen bzw. in der Produktion aufgenommene Zeiten. Zuzüglich der Zeitplanwerte ist die maximal erreichbare Ausbringungsmenge einer Produktionslinie ein weiterer bedeutender Produktivitätsfaktor.

Anmerkung:

Planzeiten, welche nicht in den Richtlinien der REFA und VDMA aufgeführt werden, sind u.a. Programm-laufzeit, Serienlaufzeit, Planlaufzeit, Zeitbedarf zur Ersatzteilversorgung, Mean Time Between Failure (MTBF), Time Between Failure (TBF), Mean Time To Repair (MTTR), Time To Repair (TTR), Zeitbedarf für Wartung- und Instandhaltung.

Eine Einteilung der manuellen und maschinellen Prozesszeiten ist für die Kostenrechnung maßgeblich, da der Anteil des Lernfaktors nur auf die manuellen Fertigungszeiten Einfluss nimmt.

C) Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeit ist die Verwendung von Ressourcen zur Maximierung des Outputs an Produktionsgütern und Dienstleistungen. Die Wirtschaftlichkeit zur Herstellung der Halbzeuge und Strukturbauteile stellt einen nach Kosten und Produktivität günstigen Prozesspfad in Aussicht, der sowohl die qualitativen Anforderungen an die Produkte als auch deren Herstellung erfüllt. Wirtschaftliche Kennzahlen der Produktionsalternativen wie Investitionen lassen sich über statische und dynamische Verfahren ermitteln.

8.3 Flexibilität

Flexibilität kann im Rahmen der Fertigung definiert werden als die Fähigkeit eines Fertigungssystems, eine vorgegebene Vielfalt von Fertigungsaufgaben bei zufälligen oder systembedingten Änderungen der Eingangsgrößen zu bewältigen, ohne dass das System in seiner Grundkonzeption verändert werden muss. Die Grundkonzeption ist dabei durch Art, Anzahl und Kopplungen der Systemkomponenten festgelegt [67]. In der Fertigungsplanung zu betrachtende Flexibilitätsanforderungen sind im Folgenden erläutert. Definitionen ausgewählter Flexibilitätsmerkmale finden sie in folgender Literatur [68].

a) Einsatzflexibilität

Bei der seriellen Herstellung von H/C Strukturbauteilen ist zu gewährleisten, dass eine Vielzahl an Arbeitsschritten des Materialflusses, der Fertigung und/oder Qualitätskontrolle von einem automatisierten Arbeitssystem und/oder Werkzeug übernommen werden kann. Werkzeuge, welche zur Erfüllung der Fertigungs- und Montageaufgaben benötigt werden, sollen weitestgehend von automatisierten Arbeitsmaschinen (z.B. Industrieroboter) prozessgesteuert aufgenommen, eingespannt, angewendet und wieder abgelegt werden. Die dafür zu entwickelnden Fertigungssysteme sind soweit zu bestimmen, als dass die Durchführung der notwendigen Arbeitsschritte an örtlich gebundener Stelle ermöglicht wird. Ein Werkzeugwechsel (WW) soll dabei ohne großen Umrüstaufwand vom Arbeitssystem selbständig durchgeführt werden. Über frei programmierbare Steuerungssysteme ist zu gewährleisten, dass automatisierte Arbeitsschritte jederzeit umprogrammiert werden können. Das Ziel ist dabei, neue oder geänderte Arbeitsschritte auszuführen. Ferner ist der Einsatz von festen Greifern und stationären Vorrichtungen in Betracht zu ziehen, sofern diese zugleich die Anforderungen erfüllen und damit ein effizienter Einsatz nachgewiesen werden kann. Für die Untersuchung der (teil-) automatisierten Herstellung von H/C Strukturbauteilen ist geplant, dass im Rahmen einer Fertigungs- und Montagezelle programmierfähige Industrieroboter mit innovativen adaptierbaren Greifern und Werkzeugen zum Einsatz kommen. Die Industrieroboter müssen dazu im Stande sein, die notwendigen Montageteile mit Effektoren zu führen und zu bearbeiten. Zu berücksichtigen ist dabei die Verwendung von multifunktionalen Werkzeugwechselsystemen, welche die Aufnahme von unterschiedlichen Werkzeugen zur Bearbeitung zahlreicher Varianten von H/C Bodengruppen gewährleisten.

b) Anpassungsflexibilität

Die Anpassungsflexibilität richtet sich vorwiegend an die Prozessausführung, während das Fertigungsverfahren, wie bspw. „Shimmen“, zur Anpassung jedoch nicht gewechselt wird. Bedingt dadurch, dass die Werkzeuge für eine Vielzahl von Prozessen, Materialien und Produkten anzuwenden sind, sollten die Systeme über veränderbare oder programmierbare

Steuerungs- und Regelungseinheiten verfügen, womit die veränderlichen Prozessparameter eingeleitet und neu definiert werden können. Hierzu sei angemerkt, dass durch Automatisierung der Arbeitssysteme der Arbeitsaufwand zur Anpassung fast gänzlich in der Steuerung und Programmierung der Arbeitsschritte liegt. Anpassungen sind unter anderem die Aufnahme- punkte der Greifer- und Spannvorrichtungen. Des Weiteren sind Werkzeugwechselsysteme anzuwenden, mit denen eine Vielzahl unterschiedlicher Werkzeuge bedient werden können.

c) Durchlauffreizügigkeit

Die Gewährleistung von zahlreichen Produktionsalternativen ermöglicht die Herstellung nach einer Vielzahl unterschiedlicher Prozessketten. Relevante Produktionsprozesse und der sequenzielle Produktionsablauf können dabei entsprechend variieren. Einen starken Einfluss auf die Durchlauffreizügigkeiten nehmen Zwischenlagerungen und Puffer. Über Pufferspeicher können verschiedene Bearbeitungspfade erschlossen werden, damit ein durchgängiger Materialfluss sichergestellt wird. Bei der Verwendung von flexiblen Fertigungssystemen ist zu gewährleisten, dass eine vorgegebene Teilevielfalt in beliebiger Reihenfolge bearbeitet werden kann. Für die Herstellung und Montage von Strukturbauteilen sollten möglichst parallele Fertigungslinien mit weitestgehend flexiblen Fertigungszellen integriert werden. Eine flexible Linienfertigung zur Herstellung von Strukturbauteilen des Frameworks kombiniert Fertigungsstationen zur Bearbeitung von Kernwerkstoffen, Faserverbundmaterialien, Preforms und Strukturbauteilen und dgl. Die Vielzahl an Varianten der Linienfertigung muss jedoch aus wirtschaftlichen Aspekten begrenzt werden. Es ist davon auszugehen, dass die Gruppenfertigungen in flexibler Fertigungs-zelle bei hohen Stückzahlen gegenüber der Linienfertigung die zumeist effizientere Produktions-alternative darstellt.

d) Produktionsredundanz

Ziel ist die Erreichung einer höchst möglichen Produktvielfalt unter Gewährleistung einer hohen Prozesssicherheit. Zur Produktion von Strukturbauteilen ist zu gewährleisten, dass ein durchgängiger Produktionsfluss im Rahmen der Prozesskette erhalten bleibt. Dazu ist vorgesehen, dass die Werker innerhalb kürzester Zeit an die Produktion herangeführt werden und die damit verbundenen Aufgaben von unterschiedlichen Arbeitskräften übernommen werden können. Darüber hinaus ist die Zuverlässigkeit von Fertigungssystemen ein wesentliches Merkmal der Produktionsredundanz. Das Bereitstellen zusätzlicher Ressourcen, welche im Störfall eingesetzt werden können, erhöht die Zuverlässigkeit und stellt die Produktionsfähigkeit sicher. Dieses steht jedoch im unmittelbaren Verhältnis zur Produktivität und führt zu steigenden Kosten. Falls bspw. weitere Arbeitssysteme in die Produktion eingeplant werden, so müssen diese die Fähigkeit besitzen, dieselben Prozesse auszuführen wie ein ausgefallenes Arbeitssystem und umgekehrt. Zur Herstellung empfiehlt es sich, vorwiegend standardisierte Maschinen zu verwenden, so dass bei einem Ausfall einer Arbeitsmaschine oder Werkzeug die Beschaffung und der Austausch in schnellen Zügen erfolgen. Demzufolge können bei einem Maschinenausfall der Materialfluss, die Fertigung und die Qualitätssicherung aufrechterhalten werden. Die Verfügbarkeit von Produktionssystemen basiert auf Erfahrungswerten der Kapazitätsplanung und der Instandhaltung des Produzenten. Für die neu entwickelten Verfahren und Arbeitssysteme in der Untersuchung besteht kein kurzfristiger Ersatz oder auch Austausch. Beim Anlernen der Arbeiter an die neuen und noch ungewohnten Arbeitsprozesse und Systeme sind zunehmende Aufwendungen und Schulungen einzuplanen.

e) Erweiterungsfähigkeit der quantitativen Kapazität

Erwünscht ist eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit und Produktivität von Maschinen und Anlagen mit zunehmender Ausbringungsmenge. Die Auslegung von Arbeitsstationen für die Produktion soll in jedem Fall darauf abgestimmt sein, dass die gewünschte Stückzahl stets gefertigt werden kann. Maßnahmen zur Erhöhung oder Verminderung von Stückzahlen sind zu gewährleisten. Durch Anpassung von Prozessen sind Leistungssteigerungen zu erzielen, wodurch die Standzeiten von Maschinen und Anlagen reduziert und die Zykluszeiten erhöht werden können. Dabei ist zu beachten, dass eine Verringerung der Taktzeit zwar den Arbeitsgang beschleunigt, jedoch häufig die Fertigungs- und Bauteilqualität negativ beeinträchtigt. Schnell ausgeführte Bewegungsabläufe von bspw. Robotern wirken zumeist zum Nachteil auf die Einhaltung von Maß-, Form- und Lagetoleranzen. Für den Fall, dass parallele Montagetätigkeiten erforderlich sind, sind zusätzlicher Platzbedarf für Arbeitsmaschinen und Freiheitsgrade für Vorrichtungen und Anlagen einzuplanen. Die mögliche Leistungsbereitschaft von Maschinen und Anlagen ist gekennzeichnet durch die Verfügbarkeit. Das Potential zur Leistungssteigerung von Arbeitssystemen ist an der geplanten Belegung und tatsächlichen Auslastung zu bemessen. Oftmals pflegt der Produzent die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen im Rahmen der Kapazitätsplanung. Verfügbarkeiten von Raum- und Platzbedarf unterliegen der Werksplanung. Die Fertigungseinheiten sollten zur Herstellung der geforderten Stückzahl nach Möglichkeit jedoch nicht erst erweitert ab- und/oder umgebaut werden.

f) Erweiterungsfähigkeit der qualitativen Kapazität

Die Anforderungen an die Stationen und Arbeitssysteme zur Produktion sind insoweit zu bestimmen, als dass die Qualität der Strukturbauteile gezielt verändert und stetig verbessert werden kann. Die Produktqualität ist zum einen vom Material und zum anderen von der Verarbeitung des Materials abhängig. Eine Bearbeitungsstation mit entsprechenden Arbeitssystemen muss deshalb die Möglichkeit bieten, viele verschiedene Bauteile und Werkstoffe mit gleichzeitig hoher Präzision zu verarbeiten.

g) Speicherfähigkeit

Für einen reibungsfreien Produktionsbetrieb ist eine geplante Abfolge der Prozessschritte erforderlich. Bei einem Werkstückstau kommt es in der Regel zu Verzögerungen, und die Taktzeit einzelner Arbeitsschritte kann nicht mehr eingehalten werden. Diese verlorene Zeit muss somit überbrückt werden. Folglich ist das Zwischenlagern oder auch Speichern von Werkzeugen, Rohmaterialien und Erzeugnissen in Speichersystemen vorzusehen. Damit die Füge- teile und Werkzeuge zur Bearbeitung rechtzeitig bereitstehen sind Puffer und Werkzeugspeicher einzurichten. Bei der automatisierten Handhabung von Material, Bauteil und Werkzeug müssen die Speichereinrichtungen ordnungsgemäß im Arbeitsraum der Roboter Einzug finden, damit diese griffbereit vom Arbeitssystem aufgenommen und wieder in den Speicher abgelegt werden können. Der Speicher selbst soll jedoch so wenig Platz wie nötig in Anspruch nehmen, so dass die Kosten zur Lagerung möglichst gering ausfallen.

Vorgesehen sind Speichersysteme nach dem FIFO-Prinzip, damit die Liegezeit der Einzellagen und Preforms minimiert werden kann. Lagenzuschnitte, welche mit automatisierten Arbeits- maschinen aufzunehmen sind, müssen vollständig geordnet gespeichert werden. Das heißt, dass die Orientierung und Positionierung der Bauteile und Werkzeuge in allen Achsen definiert sein muss. Preforms und Strukturbauteile müssen teilgeordnet gespeichert werden.

8.4 Sicherheit & Zuverlässigkeit

In der Programmplanung werden Sicherheitsaspekte von Arbeitsmaschinen zumeist über die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Arbeitssystemen bestimmt.

a) Arbeitsschutz

Der Hersteller ist verpflichtet, die Richtlinien nach dem Sozialgesetzbuch (SGB) VII einzuhalten. Bei Umgang mit Gefahrenstoffen sind die entsprechenden Sicherheitsdatenblätter maßgeblich. Ferner sind Leitmerkmalsmethoden zum Heben, Halten und Tragen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik zu berücksichtigen.

b) Sicherheit von Arbeitsmaschinen

Die eingesetzten Arbeitssysteme müssen den folgenden Richtlinien entsprechen:

- **EG-Maschinenrichtlinie (2006/42/EG)** [70]
- **EMV-Richtlinie (2014/30/EG)** [71]

DIN EN 10218, Blatt 1: behandelt Sicherheitsanforderungen für Industrieroboter [72].

Diese unterscheiden folgende Betriebsarten:

Betriebsart T1: „Manuell mit reduzierter Geschwindigkeit“
Betriebsart T2: „Manuell mit hoher Geschwindigkeit“
Betriebsart AUTO: „Automatikbetrieb“

Anmerkung:

Die manuelle Roboterbedienung über das HPG muss von außerhalb des Arbeitsbereiches stattfinden. In der Produktbeschreibung zu Industrierobotern findet sich hierfür oft die Bez. Betriebsart EXTERN.

Sicherheitsvorkehrungen beim Betreiben von Roboterzelle und Industrieroboter sind u.a.:

- Überwachung der Steuerungshardware (z. Bsp. Spannung, Temperatur, Lüfter etc.)
- Überwachung der Verfahrensweise (z. Bsp. Sollbeschleunigung, Sollgeschwindigkeit etc.)

c) Schutzklassen

Nach EN 60529 (VDE 04070, Teil 1) [73] sind für Arbeitssysteme und Werkzeuge Schutzarten festzulegen. Zur Verarbeitung von FVK sind die Anforderungen an die Arbeitssysteme mit der Schutzklasse IP54 vorzusehen. Zum Schutze der Arbeitssysteme sind Maßnahmen zu ergreifen, um die geforderten Schutzklassen einzuhalten. Systemkomponenten, welche sensibel im Kontakt mit Kohlefaser reagieren, werden mit Überdruck (Druckluft von 0,1 bar) beaufschlagt.

d) Sicherheit des Transports und der Lagerung von FVK Bauteilen

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) müssen vor jedem Transport mit einem Kantenschutz gegen Beschädigungen geschützt werden. Die Person welche, den Kantenschutz zur Bearbeitung entfernt, muss auch wieder dafür sorgen, dass der Kantenschutz angebracht wird. Die Lagerung von FVK-Bauteilen muss diesbezüglich in Speichern erfolgen, deren Oberflächen zur Ablage mit Kunststoff beschichtet sind. Zum Schutz der FVK sind Lagerräume staubarm, ölfrei und trocken zu halten. Weitere spezifische Anforderungen zur Lagerung von Materialien und Harzsystemen sind den Materialdatenblättern der Hersteller zu entnehmen.

Anmerkung:

Unzulässig ist das Einritzen von Markierungen in die Oberfläche ausgehärteter FVK Bauteile, da hierdurch Delaminationen und Faserbrüche auftreten können. Bei einem Transport-, Montageschaden oder Verdacht eines Schadens an einem Bauteil ist die Qualitätssicherung (QS) zu informieren. Die QS entscheidet über die Durchführung einer Prüfung und ist verpflichtet, entsprechende Maßnahmen einzuleiten.

e) System-Zuverlässigkeit

Für die Produktionsplanung ist eine produktbezogene System-Zuverlässigkeit zugrunde zu legen. Diese ist das Produkt der System-Zuverlässigkeit aller Betrachtungseinheiten einer Produktionskette zur Herstellung eines Erzeugnisses. Grundsätzlich gilt: „Je komplexer ein System ist, umso häufiger ist die Ausfallwahrscheinlichkeit“. Die Ausfallwahrscheinlichkeit steigt mit zunehmendem Anteil an Systemkomponenten und Systemkomplexität. Für die System-Zuverlässigkeit einer Betrachtungseinheit (z.B. Industrieroboter) müssen bereits zum Serienanlauf Durchschnittswerte ermittelt werden.

f) System-Verfügbarkeit

Verfügbarkeit ist die Wahrscheinlichkeit, nach der sich das System (die Betrachtungseinheit) im Zustand funktionsfähig befindet. Nach VDMA 66 412 entspricht die Verfügbarkeit dem Verhältnis zwischen der Haptnutzungszeit (HNZ) und der Planbelegungszeit (PBZ).

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{HNZ}}{\text{PBZ}} \quad [66]$$

Die Verfügbarkeit wird für Maschinen und Anlagen definiert. Verfügbarkeiten für Arbeitssysteme sind aus den technischen Datenblättern zu entnehmen. Die Anlagenverfügbarkeit bildet sich aus den Erfahrungswerten der gemittelten Zeit eines Fehelerauftritts (MTBF) und des gemittelten Zeitbedarfs zur Reparatur (MTTR).

$$\text{Dauerverfügbarkeit} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad [51]$$

Geplante Anlagenverfügbarkeit = 95%

Gemäß Maschinendatenblatt sind entsprechende Wartungsintervalle einzuhalten.

8.5 Ergonomie

Grundsätzlich steht in der Ergonomie der Mensch gegenüber allen anderen Betrachtungseinheiten als das vollkommenste aller Teilsysteme im Mittelpunkt des Gesamtsystems. Demnach müssen alle Teilsysteme auf den Menschen abgestimmt sein, vorausgesetzt die Fähigkeiten des Menschen und Kenntnisse der Eigenarten, seiner Faktoren und Leistungen im Arbeitsprozess sind bekannt [74]. Die Ergonomie umfasst die Gestaltung von

- Arbeitsplatz, Umwelt und Organisation
- Leistungsbeitrag und Arbeitsausführung
- Mensch- / Maschine-Schnittstelle (MMS)

Anmerkung:

Bei den benannten Faktoren der Gestaltung sind ergonomische Betrachtungen des menschlichen Körpers und Einflussfaktoren auf die Leistung des Menschen zu berücksichtigen.

A) Arbeitsplatz, Umwelt und Organisation

Die zur Produktion vorgesehenen Arbeitsplätze und Anordnungen lassen sich unter Berücksichtigung der Flexibilitätsanforderungen und durch die aus ergonomischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse festlegen. Diese umfassen unter anderem Körperstellungen bei der Arbeit, Arbeitsraum, Anordnung von Bedienelementen und Anzeigen, Arbeitssitze und Einordnung des Arbeitsplatzes in die Gesamtsituation. Ergonomische Gestaltungen des Arbeitsplatzes verbessern die Handlungsausführung und wirken positiv auf Leistungspotential und Unfallschutz. Bei der Gestaltung der Arbeitsumgebung sind Maßnahmen zu treffen, damit die Arbeitsausführung gewährleistet und die Arbeitssituation verbessert werden kann. Störende und schädliche Einflüsse im Arbeitsumfeld sind zu vermeiden und abzustellen. Bei der Gestaltung der Arbeitsorganisation müssen Arbeitszeiten festgelegt und die sozialen Bedürfnisse berücksichtigt werden. Festlegung der Arbeitszeit beinhaltet Dauer, Anfang, Schichteinteilung, Überstundenregelungen und dgl. Dabei ist zu prüfen, ob die Arbeit und die zur Ausübung der Arbeit erforderlichen Qualifikationen zumutbar sind und entsprechend eingehalten werden können [75].

B) Leistungsbeitrag und Arbeitsausführung

Es sind die vom Menschen auszuführenden Aufgaben und Funktionen festzulegen, damit die Ausübung der Tätigkeiten sichergestellt werden kann. Festgelegt werden Handlungsanweisungen über die Benutzung und Bedienung von Arbeitssystemen und Hilfsmitteln, einschließlich deren Wirkrichtung. Dazu zählen die Fähigkeiten und Eigenschaften der zur Arbeit eingesetzten Personengruppen und der in Verbindung zur Arbeit stehenden Bedingungen.

Die Art der Arbeitsausführung wird untergliedert in *manuelle* und *automatisierte* Arbeitstätigkeiten. Manuelle Arbeitstätigkeiten sind alle Teilfunktionen des Einwirkens, Lenkens und Überwachens, welche vom Mensch ausgeführt werden. Bei automatisierten Tätigkeiten übernimmt der Mensch ausschließlich die Aufgaben zur Überwachung [75].

C) Mensch- / Maschine Schnittstelle (MMS)

Die MMS ist eine Verbindung über die Mensch und Maschine im weitesten Sinne im Stande sind, miteinander Kommunikation zu betreiben. Die Kommunikation von Handlungsanweisungen vom Mensch zur Maschine ist zumeist in eine Richtung geprägt. So leitet bspw. der Maschinen- und Anlagenführer die Befehle der Arbeitsmaschine über Bedienelemente ein. Dazu führen die Arbeitsmaschinen die programmierten Arbeitsschritte aus.

Vollständig autonome Arbeitsmaschinen hingegen erhalten ihre Anweisungen über eine automatische Erkennungssoftware und/oder einen übergeordneten Algorithmus, mit dem Befehle erstellt und erteilt werden können [74].

D) Ergonomische Verordnungen und Leitlinien

Bei der ergonomischen Gestaltung sind die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) des BGGI und weitere ergonomische Leitlinien zu berücksichtigen [76].

DIN 3340 Teil 1 und 2: behandeln die Körpermasse des Menschen [77,78].

DIN 33406: beschreibt die Arbeitsplatzmasse im Produktionsbereich [79].

DIN 33411: legt die Körperkräfte des Menschen fest. Blatt 1 führt Begriffe, Zusammenhänge und Bestimmungsgrößen [80], Blatt 5 behandelt maximale statische Aktionskräfte und Werte [81].

DIN EN ISO 6385: behandelt Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen [82].

DIN EN 614 Teil 1: beschreibt ergonomische Gestaltungsgrundsätze im Rahmen der Sicherheit von Maschinen [83].

Die wesentlichen Anforderungsmerkmale der Ergonomieuntersuchung im Rahmen der Prozessplanung zur (teil-) automatisierten Herstellung von H/C Strukturbauteilen sind im Folgenden erläutert.

a) Handhabungsaufwand

Die Ergonomie der Handhabung beschreibt den Grad der Aufwendungen eines Werkers und/oder Arbeitssystem für Handhabungstätigkeiten. Das Heben schwerer Lasten soll nach Möglichkeit von automatisierten Arbeitssystemen übernommen werden, deren Bedienbarkeit einfach zu gestalten ist. Werkstoffe, Erzeugnisse und Werkzeuge zur Handhabung sollen im unmittelbaren Arbeitsumfeld bereitgestellt werden und möglichst kurze Wegstrecken zurücklegen. Dazu ist es erforderlich, dass die Lastangriffspunkte zur Aufnahme und Ablage einfach ausgeführt und erreicht werden können, so dass die erforderlichen Handhabungstätigkeiten minimalen Aufwendungen genügen.

b) Zugänglichkeit

Unter der Zugänglichkeit versteht sich die Eigenschaft von einem Werker o.a. Arbeitssystem eine bestimmte Anzahl von Punkten in einem festgelegten Raum barrierefrei erreichen zu können.

c) Bedienerfreundlichkeit

Die Bedienbarkeit von Arbeitssystemen richtet sich an die MMS. Der Einrichter erstellt die notwendigen Programme, welche von der Steuerung eingelesen und ausgeführt werden sollen. Der Bediener der Arbeitsmaschinen leitet diejenigen Befehle ein, welche von den Arbeitsmaschinen auszuführen sind. Anforderungen an die MMS sind:

- Wenig Arbeitsaufwand zur Steuerung der Arbeitssysteme
- Einfache Umsetzung der Arbeitsanweisungen mit vorhandenen Systemkomponenten
- Übersichtlicher Aufbau erforderlicher Arbeitssysteme und Programme
- Gut bedienbare Steuerungssysteme und Programme
- Einfache Bedienung von Eingabe- und Ausgabefunktionen
- Gut lesbare Daten und Informationen der Maschinenrichtlinien
- Benutzerfreundliche Anwendung der Gefahren- und Fehler-Erkennungssysteme

d) Wartungs-, Instandhaltungs- & Reparaturfreundlichkeit

Die Wartungs-, Instandhaltungs- & Reparaturfreundlichkeit der Arbeitssysteme ist bestimmt von:

- Anzahl Systemkomponenten
- Fehlererkennung
- Häufigkeit der Maschinenausfälle
- Intervalle für Wartung, Instandhaltung und Reparaturarbeiten
- Komplexität der Mechanik, Elektrik und Maschinensteuerung
- Zugänglichkeit zu den mechanischen und elektrischen Systemkomponenten
- Austauschbarkeit der Systemkomponenten

- Vorhandensein von Ersatzteilen
- Einsatz- und Abrufbereitschaft an geschultem Personal

8.6 Sonstige Anforderungsmerkmale

In dieser Kategorie sind weitere Kriterien aufgeführt, welche bei der Szenario-Analyse kein fundamentales Gewicht finden, jedoch während der Produktionsplanung eine bedeutende Rolle spielen. Informationen zu Anforderungsmerkmalen von Industrierobotern siehe [16].

a) Tragfähigkeit

Die Tragfähigkeit für Industrieroboter entspricht der Last, die ein Roboter im Stande ist ohne Einschränkungen tragen zu können. Die statische Tragfähigkeit des Industrieroboters ist definiert über die Nennlast.

$$\text{Nennlast} = \text{Werkzeuglast} + \text{Nutzlast} \quad [16]$$

Die Nennlast ist diejenige Last, die der Roboter ohne Einschränkung bzgl. Geschwindigkeit und Beschleunigung bewegen kann.

Anmerkung:

Die Tragfähigkeit ist abhängig vom Lastangriffspunkt und dem damit verbundenen Hebelarm. Bei zunehmendem Abstand des Traglastangriffspunkts zum Roboterflansch reduziert sich die Tragfähigkeit.

b) Positioniergenauigkeit

Abweichung der tatsächlich erreichten Ist-Position zur geplanten bzw. programmierten Sollposition beim Anfahren eines numerisch programmierten Punktes.

c) Wiederholgenauigkeit

Aussage über die Streuung der Ist-Positionen, wenn derselbe Sollpunkt mehrfach aus derselben Richtung angefahren wird. Diese Information ist zumeist in den technischen Datenblättern der Hersteller enthalten.

d) Greifbereich

Der Greifbereich ist für monolithische Bauteile von mindestens 2 mm Dicke begrenzt [84].

e) Greif- und Spannkraft

Beim Greifen und Spannen von Bauteilen ist vorgesehen, dass die zulässige Oberflächenpressung nicht überschritten wird. Die maximale Greif- und Spannkraft liegt für monolithische Bauteile bei 50 N/mm² [84]. Das Greifen und Spannen an Sandwichbereichen ist zu vermeiden.

f) Greiffläche

Sämtliche Greifer- und Spannelemente müssen auf die zu handhabenden Objekte abgestimmt sein.

g) Greifkraftsicherung

Bei Produktionsstillstand, Betätigung der Not-Aus-Funktion oder im Falle eines Energieausfalls muss gewährleistet sein, dass der Greiferschluss aufrecht erhalten bleibt.

9 Produktplanung

Über die DMU Planung wird die Produktstruktur und das benötigte Teilespektrum einschließlich der Stückliste des „Engineering Bill of Material“ (EBOM) entwickelt und digitalisiert. Das Design legt anfänglich Produkt-Strukturdaten mit zugehörigen Merkmalen und Bezeichnungen fest. Produktmerkmale der Strukturbauteile sind:

- Architektur und Design
- Dimension und Gewicht
- Lagenaufbau und Orientierung
- Rohmaterialien und Materialeigenschaften

Strukturbauteile der Luftfahrt werden auf Grundlage von Nummernstrukturen für Airframes und der AECMA bezeichnet. Der Produktplaner erstellt und verwaltet die Produktdaten zunächst in der VPM Datenbank und stellt diese dem Planungsnetzwerk zur Verfügung. Auf Grund der Vielzahl an alternativen Fertigungs- und Montagevarianten fallen jedoch unterschiedliche Produktstrukturen an. Für die Erstellung von Fertigungsstücklisten des „Manufacturing Bill of Material“ (MBOM) und von Produktstrukturen zur Fertigung bietet es sich an, das Planungstool DELMIA DPE zu verwenden. Die Ausgabe der Strukturbäume erfolgt in MS Excel. Der generische Ablauf zur Produktstrukturplanung ist in Abbildung 37 beispielhaft veranschaulicht. Für eine ausführliche Beschreibung der Arbeitsweise zum Anlegen von Produktstrukturdaten in DPE sei auf das Vorgehen zur Prozessplanung in Kapitel 10.5 verwiesen.

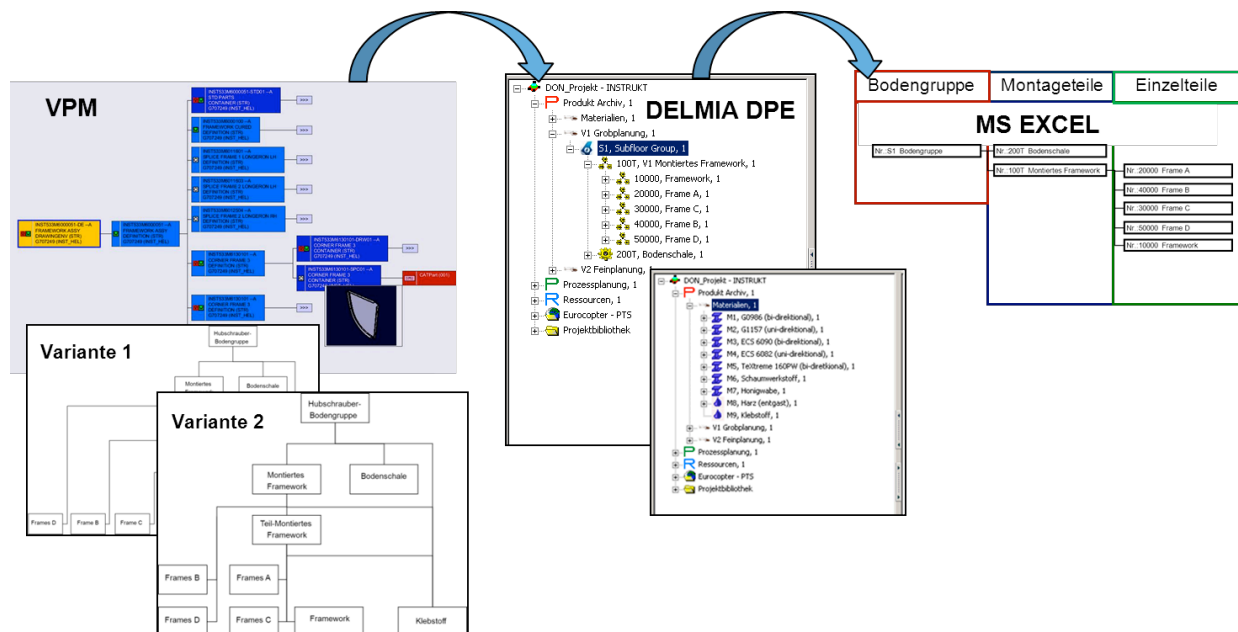


Abbildung 37 – Tool-Prozess zur Produktplanung des MBOM am Beispiel der INSTRUKT Bodengruppe

Im Strukturbaum der Fertigung wird der vollständig montierte Zusammenbau der Bodengruppe definiert. Unterhalb des Strukturbauteils befinden sich die Unterbaugruppen des Frameworks, der Bodenschale, Frames, Verbindungselemente und weitere elementare Teile. Während in der Grobplanung noch die generischen Produktstrukturdaten aus dem „Preliminary Design“ verwen-

det werden, ist mit der Feinplanung beabsichtigt auf Produktstrukturdaten des „Detail Designs“ zurückzugreifen. Details zu Preforms, Lagenpaketen und Lagenzahl sind mit zunehmender Genauigkeit in Erfahrung zu bringen. Detailliert wird der Material- und Lagenaufbau.

Geplante Produktstrukturbäume zur Bodengruppe und zum Framework sind im Anhang B dargestellt.

Anmerkung:

In der Detailplanung der Bodengruppe sind spezifische Produktvarianten mit Unterbaugruppen für Zwischenprodukte des Zusammenbaus definiert. Für das Integralbauteil des Frameworks ist es nicht zweckmäßig, die Vielzahl an Strukturvarianten abzubilden, da sich kleinste Produktänderungen auf das Fertigungskonzept und Szenario auswirken würden und erhebliche Aufwendungen zur Änderung von Vorgangs- und Prozessdaten mit sich bringen.

9.1 Architektur – Framework

Das Framework zu INSTRUKT ist ein integrales Strukturbauteil aus FVW in F&E und zugleich das Endprodukt der „Front-End“ Prozesskette. Dieses setzt sich zusammen aus einer Vielzahl an Einzellagen und Preforms, welche mit Harz in Verbindung gebracht im ausgehärteten Zustand ein Faserverbundbauteil ausbilden. Eine Übersicht der Preform-Profile und deren Anbindung ist in Abbildung 38 zu Grunde gelegt. In Rot dargestellt sind sämtliche Verbindungselemente nach dem T, Pi und L-Profil. Diese dienen der Anbindung von Frames zu den Longerons. Farblich grün dargestellt sind relevante Zwickelfüller.

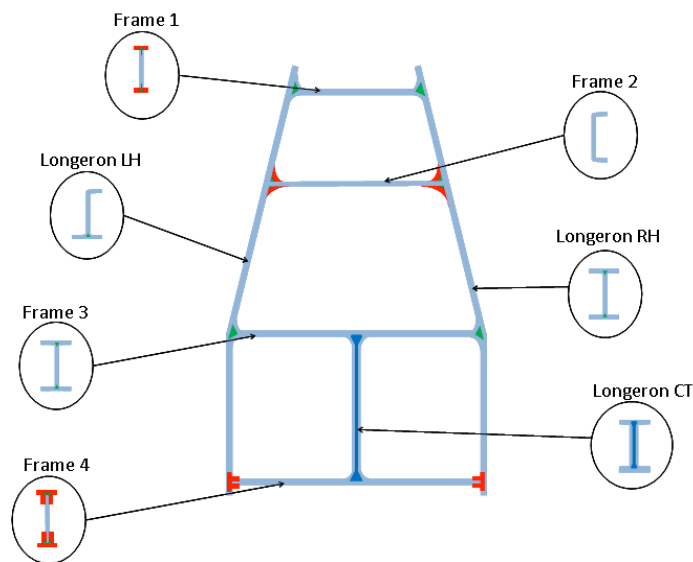


Abbildung 38 - Architektur der Verbindungselemente des INSTRUKT Frameworks

Weitere Verstärkungselemente sind vorgesehen an Strukturdurchbrüchen. Beim INSTRUKT Framework liegt ein Tankdurchbruch am Frame 3 vor (Abbildung 39). Der Randbereich des Durchbruchs ist auf jeder Seite des Preforms mit je zwei Gewebelagen alterierend $\pm 45^\circ$ zu verstärken.

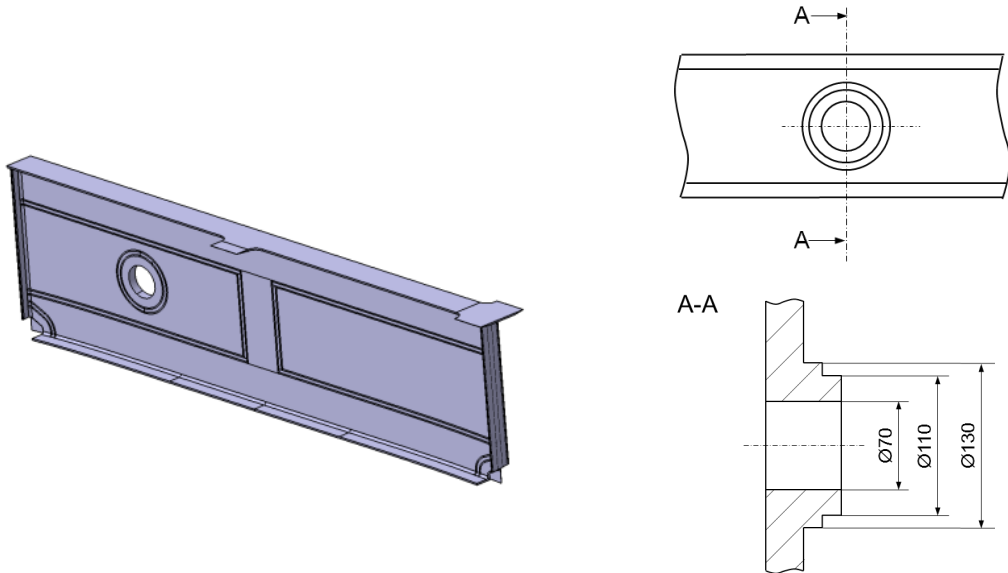


Abbildung 39 – Tankdurchbruch und Verstärkung zu Frame 3 / INST533M6030101, 3D DMU (links), Vorderansicht (oben rechts), Schnittbild A-A (unten rechts), nach [85]

9.2 Design – Bodengruppe

Für das Design ist die Bodengruppe zu INSTRUKT (Abbildung 40) zunächst ein Entwurf, gefolgt von einer technischen Zeichnung und einer dreidimensionalen DMU. In der H/C Serienfertigung ist die Bodengruppe eine montierte Baugruppe im Unterbodenbereich eines Hubschraubers.

Die Qualitätsorganisation spricht von einem Serienbauteil der Sicherheitsklasse 2 mit der Konfiguration einer standardisierten ADU. In der Forschung an Produktionsalternativen zur (teil-) automatisierten Herstellung von Strukturbauteilen dient die H/C Bodengruppe zu INSTRUKT als Testbauteil. Sie ist das Endprodukt der „Back-End“ Prozesskette und zugleich ein Prototyp der Montage.

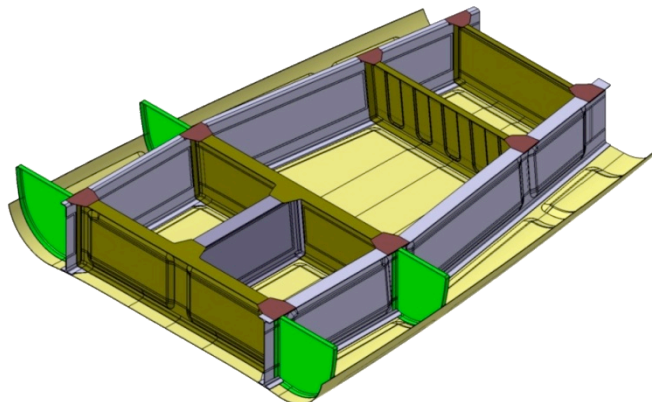


Abbildung 40 – 3D Mockup der INSTRUKT Bodengruppe [18]

Die wesentlichen Strukturbauteile der Bodengruppe sind Framework, Frames und Bodenschale. Die vier grün markierten Frames (A-D) sind die Spantelemente für die Anbindung von Framework und Bodenschale zum mittleren Segment eines Hubschraubers. An den seitlichen Längs-

trägern des Frameworks sind Formschrägen von 17° zu verzeichnen. Die maximale Formschräge der Bodenschale an der Verbindungsstelle der Frames A-D mit R390 liegt bei 10°.

9.3 Dimensionen und Gewichte

Angestrebt wird die Entwicklung des von der Architektur und dem Design vorab festgelegten Bauteilspektrums mit zugehörigen Dimensionen und Gewichten aus Tabelle 2.

Bauteil Bezeichnung	Dimension (max) [mm]	Laminatdicke (min-max) [mm]	Anzahl Kerne	Oberfläche [m²]	Gewicht ^(*) [kg]
Bodenschale	2400 x 2000 x 335	1,5 - 2,25	10	4,78	18,01
Framework	2400 x 1330 x 375	1,1 - 5,0	11	9,869	21,49
Frame A-LH	370 x 349 x 35	2,8 - 3,5	-	0,30	0,51
Frame B-RH	370 x 349 x 35	2,8 - 3,5	-	0,30	0,51
Frame C-LH	370 x 349 x 35	2,8 - 3,5	-	0,30	0,51
Frame D-RH	370 x 349 x 35	2,8 - 3,5	-	0,30	0,51
Frame 1	837 x 342 x 2,3	1,1 - 2,3	-	0,708	2,21
Frame 2	970-977 x 357 x 35	1,6 - 3,8	-	0,905	1,31
Frame 3	1.258 x 365 x 90	2,2 - 3,7	2	1,373	2,93
Frame 4	1.258 x 361 x 70	1,2 - 3,5	2	1,352	3,39
Longeron CT	752 x 362 x 72	1,7 - 4,1	1	0,826	1,63
Longeron LH	2.411-2418 x 373 x 70	1,7 - 5,0	3	2,265	4,95
Longeron RH	2.411-2418 x 371 x 70	1,5 - 4,1	3	2,44	5,08
T-Element	770 x 37 x 70	1,0 - 2,6	-	k.A.	k.A.
L-Eckelement	288 x 25 x 25	0,5 - 0,8	-	k.A.	k.A.
Pi-Element (oben)	1.258 x 38 x 70	1,0 - 3,5	-	k.A.	k.A.
Pi-Element (unten)	1.190 x 38 x 70	k.A.	-	k.A.	k.A.
Pi-Element (Frame 4)	350 x 38 x 70	k.A.	-	k.A.	k.A.

(*) Gewichte für Frame A-D, Splice und Bodenschale ermittelt mit einer Masse von
CFK: 1m³ = 1,556 t;
Honeycomb: 1m³ = 48 kg.

Tabelle 2 – Designmerkmale der Strukturbauteile zum Framework [vgl. 85,86]

9.4 Lagenaufbau und Orientierung

Bei der Auslegung von Faserverbundbauteilen legt der Designer in Absprache mit der Statik den Lagenaufbau und die Orientierung der Fasern in der technischen Zeichnung fest. Aus dieser erstellt die Arbeitsvorbereitung daraufhin den Legeplan zur Fertigung und ggf. den Einkauf. Abbildung 41 zeigt beispielhaft den Lagenaufbau des Pi-Elements zur Anbindung von Frame 4 und Longeron. Das Pi-Element ist für den Einkauf bestimmt.

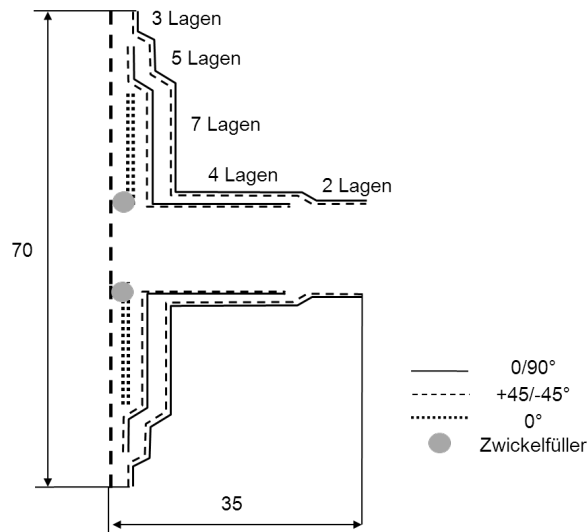


Abbildung 41 – Skizze vom Lagenaufbau des Pi-Kaufteils

Weitere Informationen zum Lagenaufbau des INSTRUKT Frameworks siehe [85].

9.5 Rohmaterialien

Die benötigten Rohmaterialien der Verbundbauteile des Frameworks zu INSTRUKT sind vorab bebinderte Faserhalbzeuge aus Kohlenstofffaser und Epoxidharze als Bettungsmasse. Für das nach der herkömmlichen Differentialbauweise geplante Framework sind Prepregmaterialien zu verwenden. Zum Fügen der Frames zum Framework dienen Nieten und zum Spaltausgleich ein Shimstoff. Beim Fügen der Bodengruppe aus INSTRUKT ist jedoch auf Nieten zu verzichten. Für die Klebung der Bodengruppe ist die Verwendung von vier Klebekartuschen zu 400ml Füllmenge erforderlich. Die Angaben beruhen auf den im Zeitraum 12.2012 durchgeführten Klebeversuchen am DLR-ZLP [87]. Angaben über Rohmaterialien für das Framework liegen im Anhang D vor. Ausführliche Informationen über Eigenschaften der Rohmaterialien sind in den technischen Datenblättern der Hersteller aufgeführt.

9.6 Produkt-Strukturplandaten-Analyse INSTRUKT Framework

Eine Gegenüberstellung der grob abgeleiteten und detaillierten Designdaten zum INSTRUKT Framework soll zeigen, welche Produkt-Strukturplanungsqualitäten zu erwarten sind. Die groben Produktplandaten stammen aus dem „Preliminary Design“ (siehe Anhang C1). Die detaillierten Produktdaten rühren vom „Detail Design“ (siehe Anhang C2). Es werden nachfolgend aufgeführte Parameter und deren Abweichungen analysiert:

- a) Lagenzahl [absolut, %]
- b) Schnittlänge und Verschnitt [m, %]
- c) Flächen- und Volumenanteil Halbzeuge [m², %]
- d) Materialanteil Faserhalbzeuge und Kernwerkstoffe [kg, %]
- e) Materialanteile Fasern, Kerne und Harzsystem [m³, kg]

Die Analyse der Produktstrukturdaten ist damit maßgeblich für die Produktionsplanung.

a) Lagenzahl

Grundsätzlich ist für die Produktion entscheidend, wie viele Einzellagen und Kernmaterialien benötigt werden und welche Änderungen sich über die Planlaufzeit ergeben. Angaben hierzu sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Material	Grobe Plandaten	Detaillierte Plandaten	Abweichung	
	absolut	absolut	absolut	[%]
Einzellagen	298	318	20	6,7
Lagenpakete	35	93	58	165,7
Kerne	11	11	-	-

Tabelle 3 - Produktdaten-Analyse zur Lagenzahl

Anmerkung:

Ein Lagenpaket entspricht einer Vielzahl an Einzellagen mit gleicher Dimension und gleichen Materialeigenschaften. Von den Kernmaterialien sind neun Schaum- und zwei Wabenkerne.

Mit gezählten 318 Einzellagen in F weicht der Anteil um absolute 20 Lagen oder auch 6,7% von G ab. Bei der Analyse der Lagenzahl fällt auf, dass noch bei G deutlich mehr Lagen vom gleichen Typ und mit ähnlichen Dimensionen zu Lagenpaketen zusammengefasst wurden. Die Anzahl der Lagenpakete liegt im Detail absolut gesehen bei 93. Das sind rund 2,5mal so viele Lagenpakete wie aus den Strukturdaten zum „Preliminary Design“ gemessen.

b) Schnittlänge und Verschnitt

Die Schnittlänge von Materialien und Halbzeugen ist ein wichtiger Planwert zur Berechnung der Zeitanteile beim Trennen. Tabelle 4 führt Plandaten und Abweichungen zur Schnittlänge der Einsatzmaterialien für das Integralbauteil des Frameworks.

Material	Grobe Plandaten	Detaillierte Plandaten	Abweichung	
	[m]	[m]	[m]	[%]
MAT 1: HS 6K, Gewebe 2/2, Hexcel	176,2	185,88	9,68	5,5
MAT 2: HTA 5131 6K, UD, Hexcel	100,5	100,62	0,12	0,1
MAT 3: HTS 40 F13 12K, NCF, Saertex	292,52	299,83	7,31	2,5
MAT 4: HTS 5631 12K, UD, vom Baur Sohn	158,44	158,68	0,24	0,2
MAT 5: HTS 45 12K, Gewebe, Textreme	93,84	92,48	1,36	1,4
MAT 6: PMI Hartschaum	3,56	3,52	0,04	1,1
MAT 7: PA Phenolwabe	17,2	17,42	0,22	1,3

Tabelle 4 - Produktdaten-Analyse zur Schnittlänge

Absolut gesehen sind für die geplanten Faserhalbzeuge rund 837,5m und etwa 21m Schnittlänge bei Schaum- und Wabenkernen erforderlich. Die mit rund 300m längsten Zuschnitte fallen für MAT 3 an. Die Abweichungen der groben von den feinen Strukturdaten der Schnittlängen liegen für Faserhalbzeuge zwischen 0,1% (MAT 2) und 5,5% (MAT 1). Bei den Kernmaterialien liegt die zu bearbeitende Schnittlänge für Rohacell Schaumkerne bei 17,2m und die des

Honeycomb bei etwas über 3,5m. Von den groben zu den feinen Plandaten liegt die maximale Abweichung der Schaumkerne bei 1,3%.

Materialverschnitt:

MAT 1 = 43,67%; MAT 2 = 58,05%; MAT 3 = 51,05%; MAT 4 = 47,47%; MAT 5 = 37,10%;
MAT 6, 7 = 20 %

Anmerkung:

Der Materialverschnitt basiert auf der gemittelten Ausnutzung beim Zuschneiden von Preformlagen. Angaben zur Ausnutzung beruhen auf den Daten der Schnittbilder zu INSTRUKT [vgl. 88].

c) Flächen- und Volumenanteil Halbzeuge

Flächen- und Volumenanteile von Halbzeugen sind wichtige technische Prozesskenngrößen für Aufnahme- und Ablegevorgänge. Häufig wird der Flächen- und Volumenanteil zur Berechnung der Gewichte für Preforms und anderweitigen Produkten aus FVW verwendet. Tabelle 5 stellt die Flächen- und Volumenanteile der Halbzeuge des integralen Strukturbauteils zum Framework dar.

Material	Grobe Plandaten		Detaillierte Plandaten		Abweichung	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[%]
MAT 1: HS 6K, Gewebe 2/2, Hexcel	14,93	4,20 * 10 ⁻³	14,67	4,12 * 10 ⁻³	0,26	1,7
MAT 2: HTA 5131 6K, UD, Hexcel	2,43	0,64 * 10 ⁻³	2,14	0,57 * 10 ⁻³	0,29	11,9
MAT 3: HTS 40 F13 12K, NCF, Saertex	19,14	4,71 * 10 ⁻³	18,57	4,58 * 10 ⁻³	0,57	3,0
MAT 4: HTS 5631 12K, UD, vom Baur Sohn	3,77	1,21 * 10 ⁻³	3,59	1,15 * 10 ⁻³	0,18	4,8
MAT 6: HTS 45 12K, Gewebe, Textreme	9,09	1,44 * 10 ⁻³	8,90	1,41 * 10 ⁻³	0,18	2,0
MAT 7: PMI Hartschaum	0,37	5,55 * 10 ⁻³	0,36	5,40 * 10 ⁻³	0,01	2,7
Mat 8: PA Phenolwabe	1,89	28,35 * 10 ⁻³	1,89	28,35 * 10 ⁻³	0	0,0

Tabelle 5 - Produktdaten-Analyse zum Flächen- und Volumenanteil der Halbzeuge

Bei der Auswertung des Flächen- und Volumenanteils ist für MAT 2 die mit 11,9% größte prozentuale Abweichung von G zu F festzustellen. MAT 2 fällt mit einer Gesamtfläche von etwas über 2m² und einem Volumen von rund 0,6m³ in Relation zu den anderen Flächenhalbzeugen mit einem Flächenanteil von gerademal 4,3% ins Gewicht. Die übrigen Materialien machen den Hauptanteil am Produkt des Frameworks aus. Deren Abweichungen liegen zwischen 1,7% und 4,8%. Die Abweichung der Wabenkerne liegt bei 2,7%. Für die Schaumkerne ist keine Veränderung im Planungsfortschritt festzustellen. Der Flächenanteil der Kerne von den Faserhalbzeugen liegt unter 5% und der Volumenanteil bei rund 74%.

d) Materialanteil Faserhalbzeuge und Kernwerkstoffe

Materialanteile zum INSTRUKT Framework für Halbzeuge und Kerne werden auf das Gewicht bezogen. Über das Flächengewicht aus Tabelle 6 und die Dichte der Rohmaterialien werden die Gewichte für Einsatzmaterialien des Frameworks berechnet.

Material	Flächen-Gewicht	Grobe Plandaten	Detaillierte Plandaten	Abweichung	
	[g/m ²]	[kg]	[kg]	[kg]	[%]
MAT 1: HS 6K, Gewebe 2/2, Hexcel	285	4,26	4,18	0,07	1,7
MAT 2: HTA 5131 6K, UD, Hexcel	270	0,66	0,58	0,08	11,9
MAT 3: HTS 40 F13 12K, NCF, Saertex	256	4,90	4,75	0,15	3,0
MAT 4: HTS 5631 12K, UD, vom Baur Sohn	325	1,23	1,17	0,06	4,8
MAT 5: HTS 45 12K, Gewebe, Textreme	160	1,45	1,43	0,03	2,0
MAT 6: PMI Hartschaum	48	0,27	0,26	0,01	2,7
MAT 7: PA Phenolwabe	75	2,13	2,13	0,00	0,0

Tabelle 6 - Produktdaten-Analyse zum Materialanteil Faserhalbzeuge und Kerne

Das Gewicht der Einsatzmaterialien für Faserhalbzeuge liegt zu G in Summe bei 12,5kg und 12,1kg in F. Dazu liegt der Gewichtsanteil der Kernmaterialien bei 2,4kg und gilt gleichermaßen für G und F. Die prozentualen Abweichungen zum Gewicht entsprechen den Abweichungen der Volumenanteile aus Tabelle 5. Das Gewicht variiert für Faserhalbzeuge und Kernwerkstoffe um rund 390g.

e) Materialanteile Fasern, Kerne und Harzsystem

Die Berechnung des Gewichtanteils des Harzsystems erfolgt auf Basis des zu erwarteten Faservolumengehalts durch die Herstellung im RTM-Verfahren. Das Gewicht der benötigten Harzmenge wird unter Einbeziehung der Dichte des RTM Injektionsharzes berechnet. Das ermittelte Gewicht des Harzanteils liegt in Tabelle 7 zu Grunde.

Material	Dichte	Volumen-Gehalt	Grobe Plandaten		Detaillierte Plandaten	
	[kg/m ³]	[%]	[m ³]	[kg]	[m ³]	[kg]
Fasern	-	56	12,20 *10 ⁻³	12,492	12,11 *10 ⁻³	12,119
Kerne	-	-	33,90 *10 ⁻³	2,393	33,75 *10 ⁻³	2,385
Harzsystem	1140*	44	9,59 *10 ⁻³	10,928	9,51 *10 ⁻³	10,843

* Hexflow Produktdaten [89]

Tabelle 7 - Produktdaten-Analyse zum Materialanteil Harzsystem

Das Gesamtgewicht des Frameworks, einschließlich Faseranteil, Kernwerkstoff und Harzanteil beläuft sich in G auf 25,81kg und in F auf 25,35kg. Das gemessene Gewicht der Preforms einschließlich Kernmaterialien entspricht in Summe 14,73kg. Das Gesamtgewicht des Frameworks liegt gemessen bei 21,89kg. Der Anteil an Harz im Bauteil entspricht ca. 7,2kg.

Eine Untersuchung [90] aus der Statik bei Airbus Helicopters hatte ergeben, dass an den Verbindungsstellen zum Framework durch Verzicht von rund 200 Nieten und geschäftetem Lagenaufbau von der differentialen Prepregbauweise zur integralen RTM-Bauweise Gewicht eingespart werden kann.

10 Prozessplanung

Die Prozessplanung beinhaltet die notwendige Arbeitsweise zur Entwicklung, Planung und Erprobung von Produktionsalternativen. Gemäß der Fertigungs- und/oder Montagestrategie werden über die Prozessplanung sämtliche Prozesse der Wertschöpfungskette zur (teil-) automatisierten Fertigung und Montage der H/C Strukturbauteile entwickelt. Für die Darstellung konzeptioneller Fertigungsabläufe und Flussdiagrammen ist die Verwendung von freiformenden Objekten mit der Software MS Visio vorgesehen. Bei der Konzepterstellung werden die benötigten Rohmaterialien und das erforderliche Teilespektrum den Fertigungsprozessen zugeordnet. Über eine Transportmatrix sind die Transportverbindungen für Rohmaterialien und Teilespektrum zuzuweisen. Zur Validierung der Fertigungskonzepte ist insbesondere die Darstellung automatisierter Handhabungsvorgänge in Form dreidimensionaler DMU geplant. Um bereits in der Konzeptphase auf eine Vielzahl an Änderungen schnell reagieren zu können, sind für Ressourcen und Produkte möglichst einfache Geomateriedaten zu verwenden. Über Fertigungsversuche sind die geplanten Prozessabläufe zu verifizieren. Die Konzeptauswahl der Fertigung und Qualität wird im Rahmen der Prozessplanung getroffen. Es folgt die Untersuchung der Anforderungskriterien aus Kapitel 8 im Rahmen der Entwicklung von Entwurfsszenarien. Die Prozessabläufe und Merkmale ausgewählter Entwurfsszenarien werden zunächst im Groben und darauffolgend im Detail ausgearbeitet. Unter Verwendung von DELMIA DPE erfolgt die Erstellung der Prozessketten nach dem „top-down“ Ansatz. Darin eingeschlossen ist die Entwicklung der erforderlichen Haupt- und Unterprozesse. Die Aufbereitung der Vorgangsdaten wird in der Konzeptphase mit dem PAT Tool „bottom-up“ durchgeführt. Mit dem PAT Tool generierte Prozessdaten und aus Versuchen verifizierte Prozessparameter können in DPE überführt werden. Abbildung 42 stellt die Schnittstelle der Prozessplanung zwischen PAT und DPE dar.

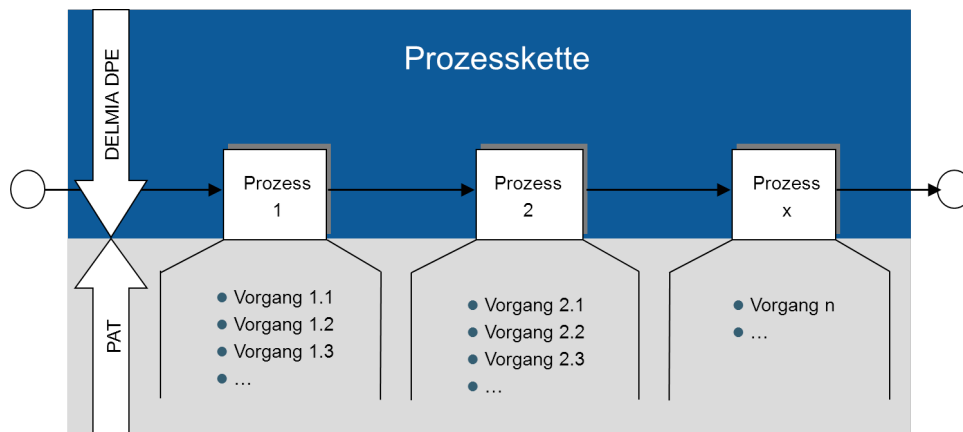


Abbildung 42 –Schema der Prozessplanung mit DELMIA DPE und PAT

In das PAT Tool werden die erforderlichen Material- und Vorgangsdaten zur Erstellung der Lieferkette und der Fertigungsprozesse eingearbeitet. Soweit vorhanden sind Arbeitsanweisungen bestehender Arbeitspläne in die Prozessplanung einzubeziehen. Aus diesen können definierte Vorgänge entnommen und entsprechende Prozesse abgeleitet werden.

Mit unterstützenden Planungstools aus der digitalen Fabrik ist es bei der Szenarioplanung erstrebenswert, die Entwurfsszenarien in Form statischer und dynamischer Materialflussmodelle

zu entwickeln. Hierzu ist beabsichtigt, definierte Produktivitätsfaktoren der jeweiligen Entwurfs-szenarien an Hand vorab festgelegter Planungsprämissen und Berechnungsformeln auszuwerten, um diese bei der Produktivitätsanalyse vergleichen zu können. Über dynamische Materialflussprozesse soll ein reibungsloser Materialfluss für die jeweiligen Szenarien entwickelt und optimiert werden. Detaillierte Anforderungen an die dynamische Materialflussplanung sind im Lasten- und Pflichtenheft zu grundgelegt (siehe [91]). Das Einhalten von ergonomischen Prinzipien wird für kritische Fälle untersucht. Generierte Prozessdaten der Detailplanung werden den aus der Erprobung und durch Messung aufgenommenen Daten gegenübergestellt und analysiert.

10.1 Konzepterstellung „Front-End“ Prozesskette

Die konzeptionelle Erstellung der Prozesskette zum Front-End wird durch die Aktivitäten des gesamten IPP Netzwerks unterstützt.

10.1.1 Materialflussprozesse

Prinzipiell ist die Fabrik- und Logistikplanung angewiesen auf industrielle Materialflusstrukturen innerhalb und außerhalb der Produktionsstätte. Bei der Wertschöpfung werden ausschließlich Prozesse des unternehmensinternen Materialflusses analysiert. Allgemein umfasst der Materialfluss zur Herstellung von Strukturbauteilen die wesentlichen Funktionen zur Lagerung, dem Fördern und Transport, der Handhabung, Bearbeitung und Prüfung als Bestandteil der Qualitäts-sicherung. Bei der Erstellung der Materialflussprozesskette werden Strukturelemente der Wert-schöpfung und Logistik sequenziell verknüpft. Die Pfeile der Prozesskette markieren die Fluss-richtung.

Die Kombination von Fertigungsverfahren und/oder Stationen aus bestehenden Fertigungskonzepten stellt eine Fertigungsvariante dar. Die Materialflussprozesskette der Untersuchung umfasst die Herstellung des Frameworks und gliedert die Bereiche zur:

- Halbzeug-Fertigung (Station 1a, 1b)
- Preform-Herstellung (Station 2, 2a, 2b)
- Integrale Framework-Fertigung (Station 3)

Darüber hinaus sind zur Herstellung der Preforms unterschiedliche Fertigungskonzepte angedacht, wobei die Preformherstellung entweder über eine Station erfolgt, oder aber die Frames und Longerons parallel der Verbindungselemente gefertigt werden. Die Materialflussprozesskette zum „Front-End“ ist in Abbildung 43 dargestellt. Ferner sind die dazugehörige Prozesse und Vorgänge näher beschrieben.

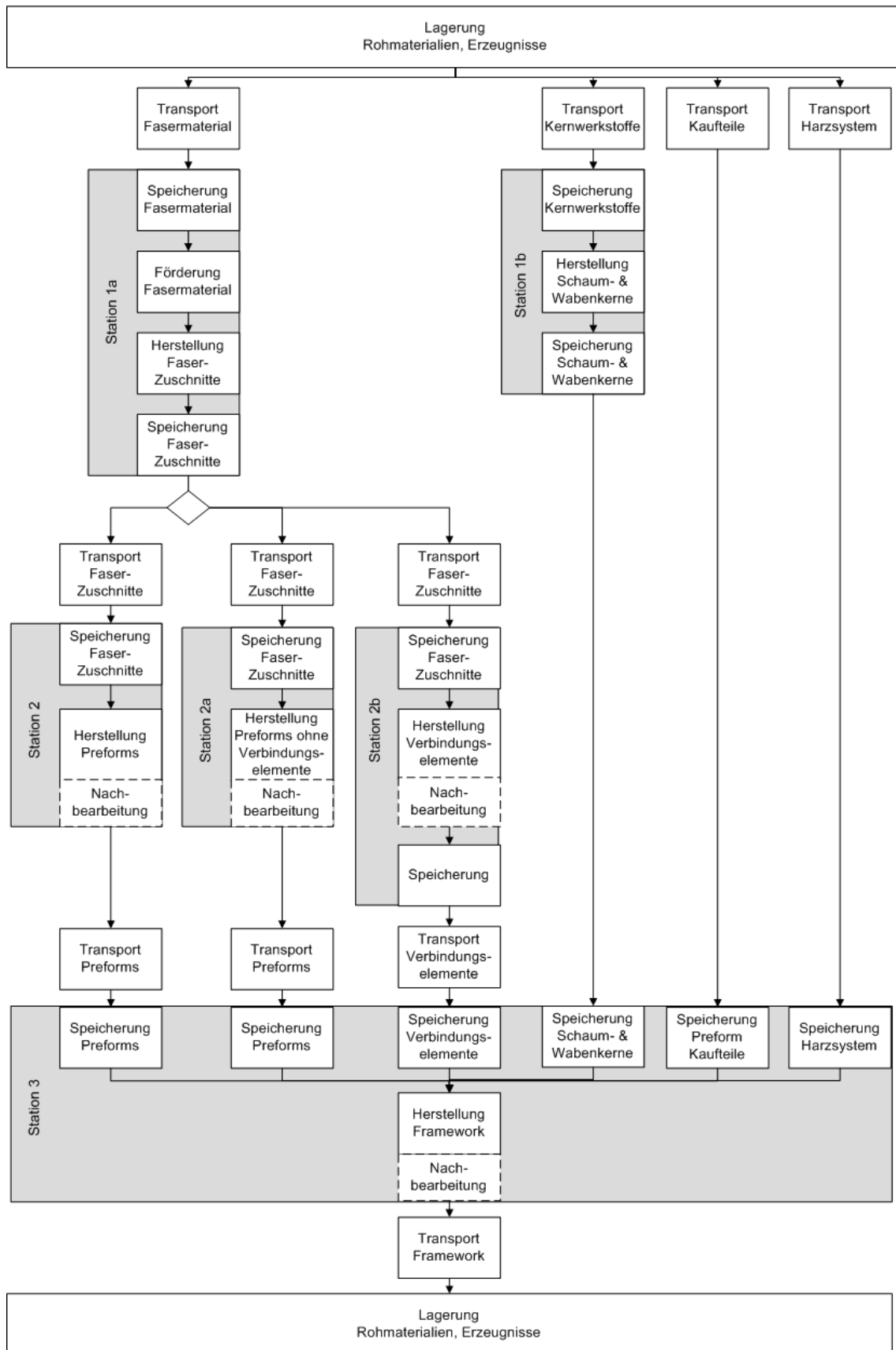


Abbildung 43 – Materialflussplan zum Front-End

Anmerkung:

Handhabungsvorgänge sind in der Prozesskette des Materialflusses nicht aufgeführt. Fertigungskonzepte und Varianten der Untersuchung sind in Kapitel 10.1.2 definiert. QS- und Prüfprozesse werden für ein ausgewähltes Fertigungskonzept in Kapitel 10.1.3 gesondert behandelt. Das Steuerungskonzept liegt Kapitel 10.1.4 zu Grunde. Unterstützungsprozesse und Bedienvorgänge zum Einleiten, Unterbrechen und Beenden sind in den Kapiteln 10.1.5-6 beschrieben.

Lagerfunktionen

In der VDI 2411 [92] sind allgemeine Begriffe und Funktionen zum Lagern definiert. Der Lagerprozess des Front-Ends beginnt mit der Übernahme der erforderlichen Einsatzmaterialien und endet mit der Abgabe des gefertigten Frameworks. Die Lagerung der Materialien sieht vor, dass die Bestände nach Menge und Wert erfasst werden.

Transportfunktionen

Der Transport umfasst das Überführen der erforderlichen Materialien, Erzeugnisse und Ressourcen an definierte Orte und Stellen der Fabrik. Sämtliche Rohmaterialien und Teile werden auf Bestellung einer Fertigungslosgröße vom Rohstoff-/Bauteillager angefordert und gemäß PPS zur Bearbeitung überführt. Alle Einzelheiten der Transportvorgänge sind nach den Transportrichtlinien, der damit verbundenen Sicherheit und im Einverständnis des beauftragten Transportunternehmens abzuklären. Die Transportaufgaben im Fabrikbetrieb sind:

- a) Transportaufgaben zum Einrichten, Aufbau und/oder Umbau der Fabrikstruktur
- b) Transportaufgaben zur Versorgung von:
 - Personal mit Hilfsmitteln
 - Maschinen und Anlagen mit Betriebsstoffen
- c) Überführen der zur Herstellung benötigten Einsatzmaterialien
- d) Überführen von Abfall und Ausschussteilen zur Deponie

Anmerkung:

Transportvorgänge zu a) und b) werden nicht weiter behandelt.

Der Transport zu c) beginnt mit der Aufnahme von Einsatzstoffen aus dem Rohstofflager und endet mit der Übergabe an die dafür zugewiesene Stelle der jeweiligen Arbeitsstation(en).

Zu d): Materialien und Bauteile, welche vom Qualitätswesen als Ausschussteile deklariert werden, müssen umgehend zur Deponie gebracht werden. Abfall, welcher durch die Produktion und Verwertung von Hilfsmitteln, Hilfsstoffen und Betriebsstoffen entsteht, ist in einem vorgesehenen Abfallbehälter zu entsorgen. In der Fertigung verwendete Abfallbehälter sind periodisch im Deponiecontainer zu entleeren.

Die Transportverbindungen (Lager – Station, Station – Station und Station – Lager) werden mittels Transportmatrix festgelegt bei der die Transportmittel nicht direkt an die Station gebunden sind (siehe Anhang E). Ferner gelten weitere Förderfunktionen für stationsgebundene Fördermittel.

- Förderfunktionen auf Station 2

Der Vorgang des Förderns sieht vor, dass die Materialien aus einem Ballenkarussell von einer Rolle abgewickelt und auf einem Förderband, zugleich Schneidunterlage, zur Bearbeitung bereitgestellt werden.

- Förderfunktion auf Station 3

Das Be- und Entladen der RTM-Pressen sind Förderfunktionen, welche dem RTM-Prozess zu Teil werden. Diese Vorgänge sind mit flurfreien Fördermitteln durchzuführen.

10.1.2 Fertigungskonzepte und Fertigungsprozesse

Es werden die Fertigungsprozesse von den Fertigungsverfahren zur Teilefertigung der Strukturbauteile abgeleitet, und die Prozesskette zur Herstellung der Frameworks wird erstellt. Fertigungsprozesse des Front-Ends sind:

- Automatisiert Zuschneiden
- Grob Zuschneiden
- CNC-Fräsen
- Single Diaphragma
- Manuelles Drapieren und Heißbügeln
- Automatisiertes Pick & Drape
- Automatisiertes Pick & Weld
- Resin Transfer Moulding

Prozesskette Framework

Bei der Erstellung der Prozesskette sind die im Folgenden erläuterten Randbedingungen zu berücksichtigen. Die Anwendung der Verfahren zum „Pick & Weld“ wird nur im unmittelbaren Zusammenhang mit dem „Pick & Drape“ untersucht. In Anbetracht geringer Aufwendungen zum Schweißen weniger Verstärkungslagen ist eine unabhängige Roboterzelle zum „Pick & Weld“ wenig produktiv.

In einer Annahme wird davon ausgegangen, dass alle verwendeten Faserflächenhalbzeuge behindert bereitgestellt werden und bei der Bearbeitung nicht zum Ausfransen neigen.

Die Abfolge der geplanten Prozesse zur Fertigung des Frameworks in integraler Bauweise sind dem Prozessgraphen aus Abbildung 44 zu entnehmen. Darin enthalten ist die Vielzahl an automatisierten Fertigungskonzepten zur Herstellung von Faserhalbzeugen und Preforms.

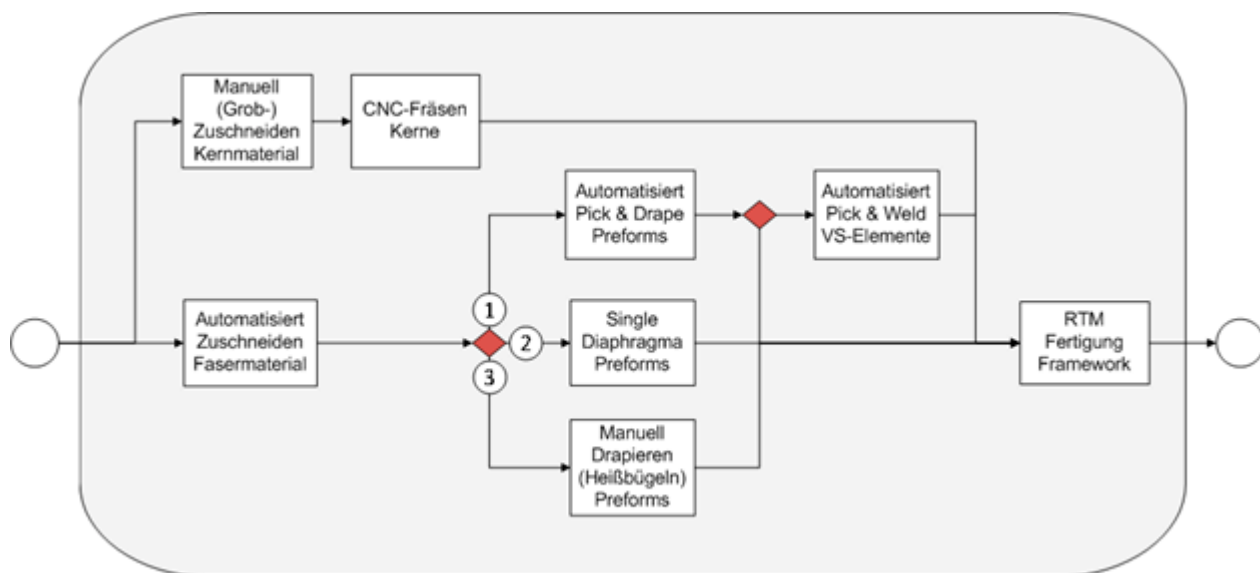


Abbildung 44 – Fertigungsschritte der „Front-End“ Prozesskette

Anmerkung:

Die Operationen der Handhabung fallen zwischen und während der Fertigungsschritte der Prozessgraphen an. Die Vorgänge und Zeitpunkte der Lagerung, des Transports, der Speicherung als auch die Vorgänge der Qualitätskontrolle und Nacharbeiten sind bei der Darstellung in Abbildung 44 nicht eingebunden.

Fertigungskonzepte

Aus dem Prozessgraphen werden die Konzepte zur Fertigung von Faserverbundbauteilen abgeleitet. Der nummerierte Prozessknoten unterteilt drei Prozesspfade der Preformfertigung. Diese bilden die wesentlichen Fertigungskonzepte. Darüber hinaus werden weitere Varianten untergliedert. Was allen Fertigungskonzepten zu Teil ist, sind die Fertigungsschritte des Zuschneidens der Fasermaterialien und das Urformen der Strukturbauteile im RTM-Verfahren. Preformkonzepte der Untersuchung sind im Folgenden beschrieben.

Konzept 1: Automatisiertes Preforming mit „Pick & Drape“ und „Pick & Weld“

Bei diesem Konzept wird zur seriellen Fertigung von Faserverbundbauteilen der höchste Automatisierungsgrad angestrebt. Geplant ist eine nahezu durchgängige automatisierte Fertigung zur Herstellung von Halbzeugen und Preforms mit den Verfahren des „Pick & Drape“ und „Pick & Weld“. Dazu ist vorgesehen, dass vereinzelte Lagenzuschnitte automatisiert aufgenommen und abgelegt werden können. Beim Ablegevorgang sollen die bebinderten Faserhalbzeuge unter Wärmezufuhr zu Faserpreforms verbunden werden. Zu erforschen sind der Einsatz und Anwendungsbereich. Eine Erprobung der modernen Verfahren und robotergestützten Prozesse erfolgt für bebinderte Faserlagen in den für die F&E vorgesehenen Fertigungszellen des Institut für Werkzeugmaschinen (IWB) in Augsburg und beim LMP von Airbus in Donauwörth.

Aus der Erprobung des Pick & Drape & Activate (PDA) Effektors geht hervor, dass die Aufnahme und Ablage von zumeist kleinen Faserlagen, wie die der Verbindungselemente, nicht abgelegt werden können. Selbst mit dem Pick & Weld Verfahren sind bei stark gekrümmten Bauteilen der Ablage von hochintegralen Verbindungselementen Grenzen gesetzt. Bestätigt wird dies nach Versuchen vom IWB und LMP. Nach Aussage von Experten ist die Ablage von Verbindungselementen nach dem T-, L- oder Pi-Profil mit dem P&W Effektor ebenfalls nicht möglich [93]. Die Vor- und Nachteile des Fertigungskonzepts 1 sind nachfolgend dargelegt.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">- Gute Toleranzeinhaltung beim Positionieren und Preforming von Faserwerkstoffen- Reproduzierbare Prozesse- Wirtschaftlich bei hoher Stückzahl- Niedrige Fertigungskosten- Schnelle Arbeitsweise- Hoher Automatisierungsgrad	<ul style="list-style-type: none">- Eingeschränkte Auf- und Ablegefläche- Hinterschneidungen schwer realisierbar- Hohe Investitionskosten- Hoher Steuerungsaufwand- Hohe Aufwendungen für Wartung und Instandhaltung- Zahlreiche Energieanschlüsse- Hoher Platzbedarf für Fertigungszelle

Konzept 2: (Teil-) Automatisiert Preforming mit „Single Diaphragma“

Hierbei handelt es sich um ein Fertigungskonzept, bei dem sämtliche Verarbeitungsschritte des Preformings mit dem Diaphragmaverfahren umzusetzen sind. Die Verarbeitung von Preforms im Diaphragma ist ein (teil-) automatisierter Prozess, zu dem der Werker den Auf- und Abbau von Formwerkzeug und Lagen von Hand durchführt sowie Vorgänge zur Evakuierung und Wärme-

zufuhr selbständig einleitet. Beim Aufbau sind vorgefertigte bebinderte Faserhalbzeuge manuell in die Form einzulegen. Das Preforming geschieht dazu vollautomatisch unter einer Vakuumhaube und mittels Heiztisch. Dadurch, dass die Lagen von Hand in die Form eingelegt werden, wird diesem Fertigungskonzept ein hoher Grad der Flexibilität beigemessen. Beachtlich ist jedoch die Herstellung von Preformelementen mit hochintegraler Struktur. In Anbetracht komplexer Formgeometrie und des Lagenaufbaus können weitere Verarbeitungsschritte notwendig werden. Mehrfache Kompaktierschritte haben Auswirkung auf die Detaillierung der herstellerspezifischen Erzeugnisstruktur. Hinzu kommt, dass der erforderliche Zeitanteil mit zunehmenden Kompaktierschritten ansteigt. Das Diaphragmaverfahrens wurde bereits mit der Serienfertigung von Traglenkern der Flugzeugtüren bei zahlreiche Airbus Programmen eingesetzt. Es folgt eine Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile des Fertigungskonzepts 2.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Produktqualität - Serielle Anwendungen nachgewiesen - Kompaktieren mehrerer Lagen möglich - Hohe Flexibilität beim Drapieren - Umformen von mehreren Bauteilen in einem Fertigungsschritt realisierbar - Zum Teil automatisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> - Ungenaue Lagenpositionierung - Hohlräume kaum umsetzbar - Hohe Investitionskosten - Benötigt Vakuum und Heizleistung - Hoher Platzbedarf erforderlich

Konzept 3: Manuelles Preforming durch „Heißbügeln“

Die wohl herkömmlichste Methode zur Herstellung von Faserpreforms ist die manuelle Drapier-technik. Bebinderte Faserhalbzeuge lassen sich beim manuellen Heißbügeln mit einem Bügel-eisen von Hand vorformen. Zum Verbinden der Lagen temperiert der Werker mit dem Bügel-eisen die Faserlagen. Auf definierte Temperatur gebracht schmilzt der Binder auf und die Lagen haften zusammen. Das Aufheizen des Binders ist qualitativ auf Werkzeug, Werkstoff und Material abzustimmen.

Gegenwärtig kann wohl kaum ein Verfahren die Faserlagen so flexibel ablegen wie der Werker selbst. Sehr zum Vorteil des manuellen Preformings können nachweislich sowohl flächige als auch komplexe Strukturen von Hand geformt werden. Das manuelle Preforming nimmt jedoch viel Zeit in Anspruch. Weitere Vor- und Nachteile des manuellen Heißbügeln sind nachfolgend aufgeführt.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Fertigkeit durch Werker - Kaum Investitionen für Werkzeuge - Wirtschaftlich bei geringer Stückzahl - Geringe Investitionen für Werkzeuge - Hohe Flexibilität beim Preforming - Uneingeschränkte Herstellung von Preforms aus bebinderten Faserlagen 	<ul style="list-style-type: none"> - Fehlereinfluss durch Werker - Nicht automatisierbar - Niedrige Drapiergeschwindigkeit - Ungleichmäßige Aufheizraten - Hohe Herstellungskosten pro Stück

Beim Erstellen der Fertigungskonzepte werden die zu bearbeitenden Produkte den relevanten Fertigungsprozessen zugeordnet (Tabelle 8).

Konzept	Fertigungsprozesse	Rollen- material	Waben-, Schaum- werkstoff	Lagen-/Zuschnitte								VS	Waben-, Schaum- kerne	Preforms
				Longeron RH	Longeron LH	Longeron CT	Frame 1	Frame 2	Frame 3	Frame 4	Pi / L / T -Profile			
1	Automatisiert Zuschneiden Manuell (Grob-) Zuschneiden CNC-Fräsen Automatisiert "P&D" Automatisiert "P&W" RTM Prozess	x	x x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Automatisiert Zuschneiden Manuell (Grob-) Zuschneiden CNC-Fräsen Single Diaphragma RTM Prozess	x	x x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	Automatisiertes Zuschneiden Manuell (Grob-) Zuschneiden CNC-Fräsen Manuell Drapieren (Heißbügeln) RTM Prozess	x	x x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabelle 8 – Zuordnung der Fertigungsprozesse und Produkte entsprechend der Fertigungskonzepte

Konzeptvarianten

Für den Fall, dass die Verbindungselemente nicht vollständig automatisiert gefertigt werden können, sind weitere Varianten zu betrachten. Die Vielfalt an Winkeln und Radien von großer Häufigkeit bei den Verbindungselementen sind Gründe dafür, die Prozessfähigkeit der Preformfertigung von Pi, L und T-Profilen mit automatisierten Verfahren in Frage zu stellen.

Das Drapieren hochintegraler Verbindungselemente wird dazu bei allen Konzepten manuell durchgeführt. Zusätzlich zu den Konzepten sind weitere Varianten in Betracht zuziehen.

Anmerkung:

Zur Benennung von Konzeptvarianten bezeichnet die dominierende Prozesskette das Konzept, während kombinierte Prozessketten jeweils eigene Varianten bilden.

Konzept 1 Variante 1:

(Teil-) Automatisiertes Preforming durch Pick & Drape, Pick & Weld, Manuelles Drapieren

Konzept 2 Variante 1:

(Teil-) Automatisiertes Preforming durch Single Diaphragma, Manuelles Drapieren

In der angefügten Darstellung werden die zur Fertigung des Frameworks notwendigen Materialien und Erzeugnisse den Fertigungsprozessen zur Bearbeitung zugeteilt (Tabelle 9).

Konzept	Fertigungsprozesse	Rollen- material	Waben-, Schaum- werkstoff	Lagen-/Zuschnitte								VS	Waben-, Schaum- kerne	Preforms
				Longeron RH	Longeron LH	Longeron CT	Frame 1	Frame 2	Frame 3	Frame 4	Pi / L / T -Profile			
1.1	Automatisiert Zuschneiden Manuell (Grob-) Zuschneiden CNC-Fräsen Automatisiert "P&D" Automatisiert "P&W" Manuell Drapieren (Heißbügeln) RTM Prozess	x	x x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2.1	Automatisiertes Zuschneiden Manuell (Grob-) Zuschneiden CNC-Fräsen Single Diaphragma Manuell Drapieren (Heißbügeln) RTM Prozess	x	x x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabelle 9 – Zuordnung der Fertigungsprozesse und Produkte entsprechend der Konzeptvarianten

Anmerkung:

Für die Vorauswahl der Konzepte und Konzeptvarianten ist entscheidend, dass unter minimaler Aufwendung an Vorgängen als auch an Ressourcen, die Preform- und Frameworkfertigung von Strukturbauteilen umgesetzt werden kann.

a) Automatisiert Zuschneiden

Auf einem Cutter in Position gebracht werden die benötigten Einzellagen mit einem Markierstift gekennzeichnet und nach Art und Menge in Form und Lage vollautomatisch zugeschnitten. Die Vorgänge zum Kennzeichnen und Zuschneiden haben nach automatisiertem Programmablauf zu erfolgen. Für die Bedienung des Cutters ist ein Werker zuständig.

b) Manuell (Grob-) Zuschneiden

Rohmaterialien der Schaum- und Wabenwerkstoffe sind in einem Arbeitsgang nach Art und Menge mit grob definiertem Randabstand zum Ist-Maß zurechtzuschneiden.

Anmerkung:

Für Schaumwerkstoffe empfiehlt es sich den Grob-Zuschnitt mit einer Bandsäge durchzuführen. Wabenkerne hingegen müssen von Hand mit einem Schneidmesser zugeschnitten werden. Detaillierte Arbeitsanweisungen werden von der Arbeitsplanung festgelegt.

c) CNC-Fräsen

Mit dem Fertigungsprozess des CNC-Fräsens sind die Waben- und/oder Schaumwerkstoffe in einem Bearbeitungszentrum auf Endkontur automatisiert zuzuschneiden.

d) Automatisiert Pick & Drape

Vor dem Hintergrund, die Preforms des Frameworks unter der Verwendung von Roboter und PDA Effektor umzusetzen, ist der automatisierte Pick & Drape Prozess über einen Drapierversuch zu inspizieren (VPP siehe Anhang A1). Die erforderlichen Arbeitsschritte sind:

- Position anfahren zur Aufnahme
- Lagenaufnahme unter Drehbewegung
- Position anfahren zur Ablage
- Ablage unter Drehbewegung bei gleichzeitigem Aufheizen
- Position anfahren Grundstellung
- Abkühlen auf Raumtemperatur

**Pick & Drape
(P&D)**

Der Versuch zum Pick und Drape hat gezeigt, dass der PDA Funktionskopf durchaus in der Lage ist, bebinderte Faserflächenhalbzeuge auf dem Werkzeug (C-Profil) zum Longeron LH in Form zu bringen. Mit dem robotergeführten PDA Effektor ist es möglich, Preformlagen in horizontaler und vertikaler Richtung bis zu einem Winkel von 90° abzulegen. Zugleich sind Vertiefungen, sog. Sicken, mit bis ca. 20mm Tiefe realisierbar. Die ermittelten Geschwindigkeiten zur Lagenaufnahme und Ablage liegen gerundet bei V_{auf} von 2,2m/min und für V_{ab} bei ca. 0,1m/min. Das Drapieren der Formgeometrie zum C-Profil des Longeron LH ist in den Abbildungen 45-46 veranschaulicht.

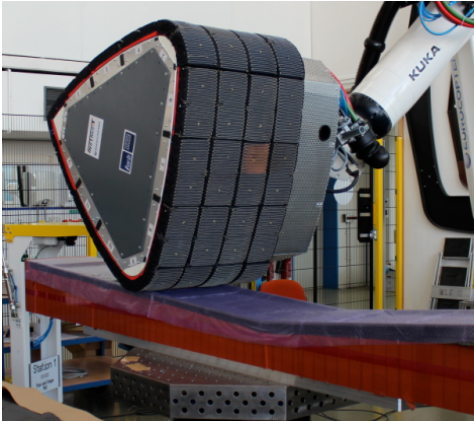


Abbildung 45 – Legeversuch zum Preforming einer Gewebelage mit Roboter und PDA Effektor [33, 34]



Abbildung 46 – Ablage einer Preformlage im C-Profil zum Longeron LH [33, 34]

Um eine Anhaftung der Faserlagen am Drapierkopf zu vermeiden sollten, nur einseitig bebinderte Lagen verarbeitet werden. Des Weiteren ist festzustellen, dass der PDA Effektor Faserlagen unter einer Breite von 30mm nicht aufnehmen kann. Die Aufnahme von Faserlagen mit PDA Effektor kann nur erfolgen, solange der Randabstand der Faserflächenhalbzeuge die Saugkammer weitestgehend überdeckt. Im Prototypenbau ist mit Störungen zu rechnen, die in der Serie minimiert werden müssen.

Anmerkung:

Die Aktivierungstemperatur beim Preforming ist stets vom Binder abhängig und liegt für Thermoplastbinder bei ca. $105 \pm 15^\circ\text{C}$.

e) Automatisiert Pick & Weld

Sofern Verstärkungslagen auf Faserpreforms vollautomatisch anzuschweißen sind, ist hierfür das automatisierte Pick & Weld vorgesehen. Ein vom Roboter geführter P&W Funktionskopf soll bspw. Vier Verstärkungslagen am Durchbruch des Preforms zu Frame 3 aus INSTRUKT anhaften. Der Prozessablauf beim „Pick & Weld“ ist wie folgt:

- Position anfahren zur Aufnahme
- Lagenaufnahme – Luftdruck erhöhen
- Position Anfahren zur Ablage
- Ablegen – Luftdruck verringern
- Schweißen
- Position anfahren Grundstellung

**Pick & Weld
(P&W)**

Die Erprobung der Aufnahme, Ablage und des Verschweißens von Verstärkungslagen wird mit dem roboterbetriebenen P&W Funktionskopf durchgeführt. Zum punktuellen Verschweißen der Faserlagen werden nur wenige Sekunden benötigt. Die Vorgänge zum Ansaugen und Ablassen der Halbzeuge kann an der Drossel zum Luftstromerzeuger eingestellt werden. Der Anpressdruck beim Schweißen wird durch Federkraft der Federstößel am P&W Effektor geregelt. Die Temperatur beim Schweißen wird über den erzeugten Anpressdruck und die Frequenz der

Amplitude gesteuert. Das Aufnehmen der Verstärkungslage ist in Abbildung 47 und der Ablege-
vorgang zum Verschweißen in Abbildung 48 veranschaulicht.

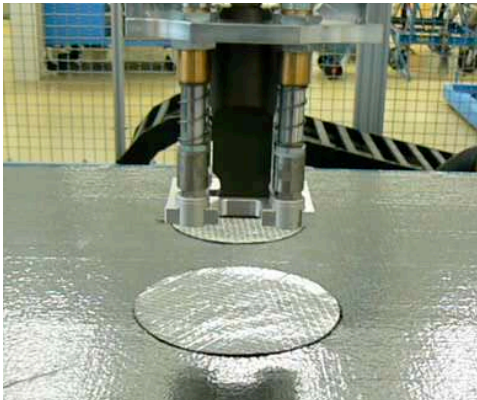


Abbildung 47 – Vorgang zur Aufnahme einer Faserlage vom Typ G0986 mit P&W Effektor

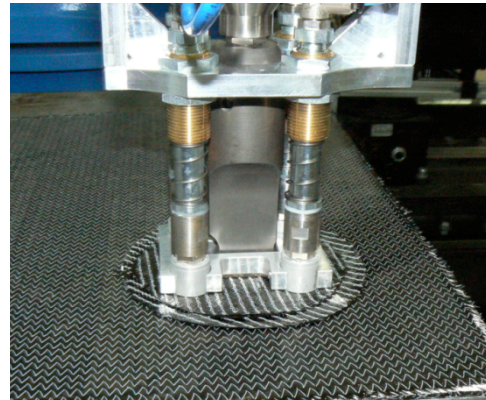


Abbildung 48 – Vorgang zum Verschweißen von Verstärkungslagen mit P&W Effektor

Die Anhaftung der Faserlagen wird stets nach dem Schweißvorgang vom Werker überprüft. Das Ergebnis vom Pick & Weld Versuch am LMP bei Airbus Helicopters hat gezeigt, dass sich der P&W Funktionskopf für die Anhaftung von Verstärkungslagen von Durchbrüchen an Strukturbauteilen eignet. Eine Anhaftung der Faserlagen findet statt.

f) Single Diaphragma

Der Diaphragmaprozess ist ein Prozess, bei dem trocken bebinderte Lagenpakete zu Preforms umgeformt werden. Für die Herstellung der Preforms im Diaphragma werden Tooling, Diaphragmaanlage mit Membran sowie Heizfeld und Vakuumpumpe benötigt. Beim Single Diaphragma wird nur eine Membranschicht verwendet. Im vorliegenden Fall integriert der Single Diaphragmaprozess manuelle Tätigkeiten (1) und automatisierte Arbeitsgänge (2). Die Arbeitsschritte hierzu sind:

- FEMI vorbereiten (1)
- Lagen-Fixieren (1)
- Vakuum-Aufbau (1)
- Kompaktieren (2)
- Aufheizen (2)
- Umformen (2)
- Aushärten (2)
- Abkühlen (2)
- Bauteil entnehmen (1)
- Abbau (1)

Single Diaphragma

- (1) Manuelle Vorgänge
- (2) Automatisierte Vorgänge

Die Anwendung des Single Diaphragmaverfahrens ist im Hinblick auf die Qualität und Fertigungszeit beim Preforming von Halbzeugen aus INSTRUKT zu untersuchen. Für die Zeitaufnahme und Erprobung sind Umformversuche mit Kompaktierungen zu unterschiedlicher

Lagenzahl durchzuführen (VPP siehe Anhang A2). Mittels Zeiterfassung werden jeweils Faktoren für Personal und Anlage bei der Lagenumformung ermittelt.

Zunächst werden die Faserlagen von zwei Werkern auf das Werkzeug von Hand aufgelegt. Daraufhin wird der Lagenaufbau durch Evakuierung von der Membran an das Tooling angeformt. Als Wärmezufuhr dienen Heizmatten. Diese werden auf 125°C eingestellt. Nach dem Aufheizen wird die zur Binderaktivierung erforderliche Temperatur am Tooling gemessen. Zeiteinsparungen beim Aufheizen können über einen beheizten Umformtisch erzielt werden. Für den Umformzyklus werden zwischen 15-20 min benötigt. Das Abkühlen der beheizten Preforms kann durch aktive Kühlung (z.B. Ventilatoren) beschleunigt werden. Nach dem Entformen des Preforms wird die Oberflächenqualität auf Lagenverzug geprüft. Der Versuch zum Single Diaphragma ist in den Abbildungen 49 und 50 dargestellt.

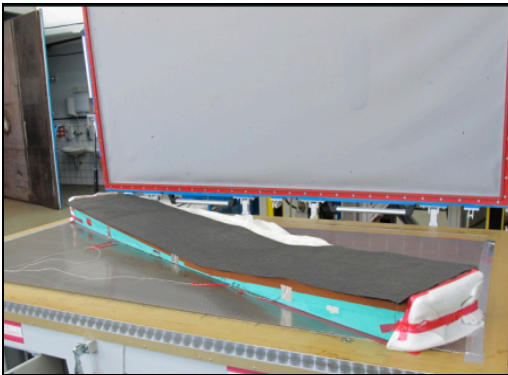


Abbildung 49 – Lagenaufbau vor dem Umformen

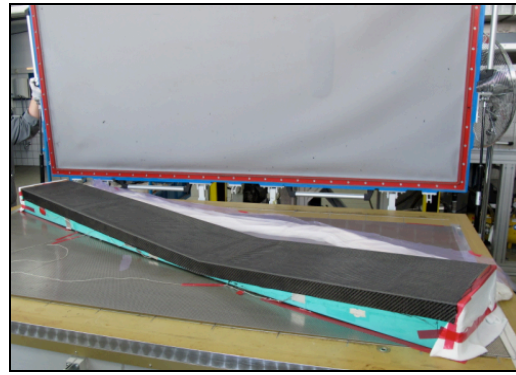


Abbildung 50 – Preform umgeformt

Die Herstellung der Preforms ist in beiden Versuchen gut verlaufen. Die aus den Messungen ermittelten zeitlichen Faktoren der Lagenumformung liegen für automatisierte Vorgänge bei 98,5min/m² und bei 7,2min/m² für manuelle Vorgänge. Auf Sicht geprüft sind keinerlei Faserondulationen festzustellen. Eine Anhaftung der Faserlagen an den Longerons LH ist gewährleistet.

g) Manuell Heißbügeln

Zum Formen von Faserpreforms positioniert und drapiert der Werker mit einem industriellen Bügeleisen zunächst die benötigten Zuschnitte auf die Werkzeugform und aktiviert den Binder. Über Versuche zur thermischen Messung sind Heizzeiten zum Anbinden von Gewebelagen mit Thermoplastbinder durch Heißbügeln in Erfahrung zu bringen. Im Versuch werden Thermoelemente zwischen der untersten und den darauffolgenden Lagen angebracht. Die Aufnahme der Messwerte erfolgt im Sekundentakt. Im Ergebnis einer Studie zum Heißbügeln bei Airbus Helicopters ist eine Anhaftung von bis zu drei Gewebelagen mit Binder garantiert [94].

Kleine bebinderte Gewebeproben können ohne großen Aufwand in hochintegraler Form vom Werker angeheftet werden. Uregelmäßige Bewegungen beim Heißbügeln führen vor allem bei großen Faserflächen zu qualitativen Mängeln.

h) RTM Prozess

Mit dem RTM-Verfahren ist die Herstellung des integralen Frameworks umzusetzen. Vorgänge zum RTM-Prozess werden in manuelle Vorgänge (1) und automatisierte Vorgänge (2) unterteilt. Der RTM-Prozess zur Herstellung des Frameworks beinhaltet folgende Arbeitsschritte (nach [95, 96]):

- Werkzeug reinigen (1)
- Werkzeug eintrennen (1)
- Dichtung einrichten (1)
- Werkzeug belegen (1)
- Werkzeug schließen (1)
- Werkzeug positionieren (1)
- Leitung anschließen (1)
- Evakuieren (1)
- Dichtigkeit Prüfen (1)
- Harzsystem vorbereiten (Umfüllen, Erwärmen, Entgasen) (1)
- Beschicken (Entkoppeln Aufbereitungssystem, Befüllen & Anschließen Injektionsanlage) (1)
- Thermoelemente einrichten (1)
- Werkzeugform & Leitungen Spülen (1)
- Dosiersversuch durchführen (1)
- Presse starten & Werkzeug aufheizen (1)
- Infiltrieren (1 und 2 parallel)
- Härtezyklus (2)
- Aushärten & Abkühlen (1 und 2 parallel)
- Leitungen trennen (1)
- Werkzeug öffnen (1)
- Bauteil entnehmen (1)

RTM Prozess

- (1) Manuelle Vorgänge
- (2) Automatisierte Vorgänge

Um im Vorfeld der Herstellung eines Prototyps zum Framework Erfahrungswerte über Aufheizzeiten und Druckverhältnisse am neuen RTM-Formwerkzeug zu erhalten, ist ein Probelauf (Infiltration ausgenommen) empfehlenswert. Mit dem Probelauf werden Temperatur und Druckverlauf gemessen sowie Temperaturheißfühler am Tooling überprüft. Sämtliche Mängel sind für die Fertigung zu beseitigen.

Der Aufbau des RTM-Toolings und Preforms wird von Werkern durchgeführt. Für den Versuchsaufbau werden Legepläne für Tooling und Preforms herangezogen. Zum Anheben der schweren Tooling-Kerne werden Hebezeuge mit Sicherungsgurten verwendet. Nach dem Aufbau wird das Formwerkzeug in die Presse eingeführt und die Presse geschlossen.

Im Folgenden ist der Aufbau der Preforms und des Toolings zum Framework aufgezeigt (siehe Abbildungen 51 und 52).



Abbildung 51 – Positionieren der Preforms und Aufbau von Formwerkzeug



Abbildung 52 – Formwerkzeug schließen und in die RTM-Press einfahren

Das Evakuieren und Aufheizen des RTM-Toolings sowie die Aufbereitung des Harzsystems sind zeitgleich durchzuführen. Der automatisierte RTM-Zyklus wird über ein Steuerungssystem von einem zuständigen Anlagenbediener der RTM-Press eingeleitet. Folglich entnimmt der Werker das gekühlte Harzsystem und bereitet dieses auf. Das Harzsystem wird zunächst in einem Vakuumtopf erwärmt und mit einem Behälter automatisch verrührt, was dazu führt, dass es entgast. Nach der Entgasung kann das Harzsystem in den Harztopf umgefüllt und an die Presse angeschlossen werden. Beim Erreichen der Soll-Temperatur an der Werkzeugform wird die Injektion eingeleitet.

Zur Herstellung eines Prototyps zum INSTRUKT Framework werden rund 13 kg des Reaktionsharzes unter Druck injiziert. Von der injizierten Harzmenge bleibt ein Teil in Leitungen und Harzfalle zurück. Die Temperatur wird zum Aushärten angehoben. Nach einer definierten Haltezeit leitet der Werker den Vorgang zum Abkühlen ein. Daraufhin kann das Tooling aus der Presse ausgefahren und das Framework ausgebaut werden.

Anmerkung:

Aus der Analyse zum Heizzyklus ist hervorgegangen, dass das Aufheizen weit mehr Zeit in Anspruch nimmt wie zuvor erwartet. Das Aufheizen der großen Werkzeugform aus Stahl mit der Vielzahl an Kernen aus Aluminium erfolgt über Kontaktflächen der Presse. Eine alternative Lösung zur Verbesserung der Wärmeübertragung ließe sich durch eine von der Konstruktion optimierte Werkzeugform und ein mit Öl beheiztes Tooling erzielen.

Zum Entformen des Frameworks werden die Formkerne Stück um Stück ausgebaut und das Bauteil freigelegt. Das Framework kann daraufhin im Augenschein inspiziert werden. Kanten werden entgratet. Für einen ersten Prototypen sind Form und Oberflächengüte des Frameworks ausreichend realisiert. Wenige Stellen an den Frames bleiben jedoch vom Harz unbenetzt.

Anmerkung:

Für eine umfangreiche Analyse der inneren Struktur des Frameworks ist die Durchführung einer Ultraschallprüfung zu empfehlen. Diese soll Aufschluss darüber geben, welche Stellen des Frameworks nicht ausreichend mit Harz benetzt worden sind. Ferner lassen sich aus der Bauteilprüfung Erkenntnisse ableiten, um die Qualität künftig zu verbessern.

10.1.3 Konzepte und Prozesse der Qualitätsprüfung

Mit der Qualitätskontrolle wird sichergestellt, dass die Qualitätsanforderungen für Temperatur- und Druckregelung, Positionierung, Lageerkennung, Objekterkennung o.a. Objektvermessung eingehalten werden.

Modifizierte Prozesskette

Um eine durchweg gute Fertigungsqualität von Strukturbauteilen zu gewährleisten, sind Prüf- und Messvorgänge der Qualität (Q) in die Prozesskette einzubeziehen (siehe Abbildung 53).

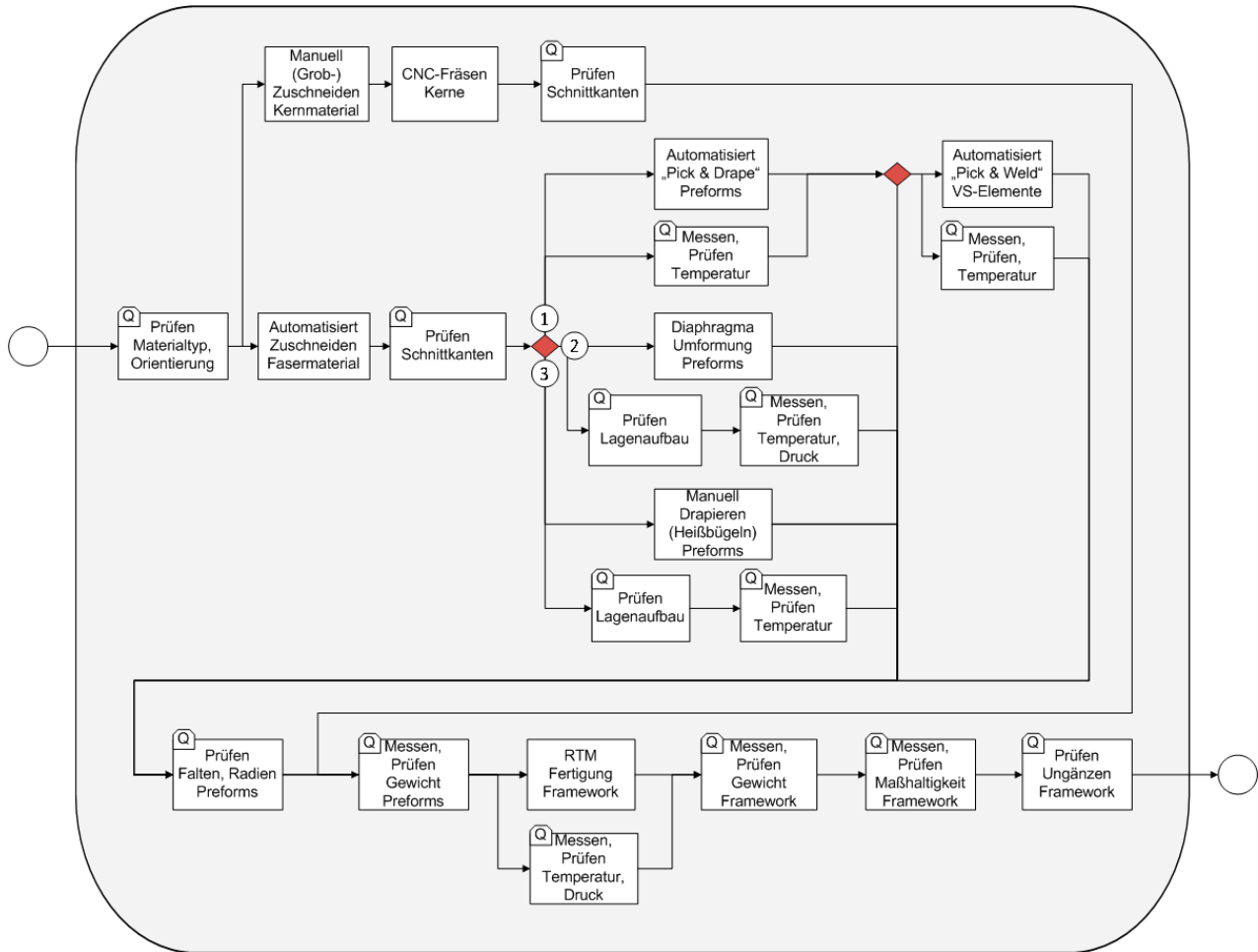


Abbildung 53 – Fertigungsschritte der „Front-End“ Prozesskette

Der Materialtyp einschließlich Orientierung der Einzelschichten ist vom Werker stets auf Sicht zu prüfen. Schnittkanten und Auffälligkeiten wie Faserondulationen werden unmittelbar nach dem Trennvorgang visuell geprüft. Das Prüfen des Lagenaufbaus erfolgt durch Kontrolle des Legeplans. Unstimmigkeiten an Preforms wie unzulässige Falten, Radian oder anderweitigen Auffälligkeiten sind zu dokumentieren.

Durch Anlernen (engl. Teachin) der Ablegepositionen mit Roboter und PDA Effektor ergeben sich beim Ablegevorgang Lagenverzerrungen in horizontaler Richtung. In vertikaler Richtung sind keine Mängel erkennbar.

Anmerkung:

Für eine Glättung der Lagen sollte der Anpressdruck und die Bahnsteuerung beim Ablegen optimiert werden. Sofern der Ablegevorgang von einem Anlagenbediener geteacht wird, kommt es zumeist an den Kippunkten des Effektors zu Lagenverzerrungen. Eine Maßnahme zur Verbesserung der Ablegegenauigkeit kann über gezielte Regelungsalgorithmen und Offline Programmierung der Roboterbewegungen erzielt werden.

Mittels optischer Messsensorik kann die Temperatur beim Preforming vom Werker inspiziert werden. Abbildungen 54 und 55 zeigen Aufnahmen der Temperaturmessung zum P&D Versuch mittels Wärmebildkamera.

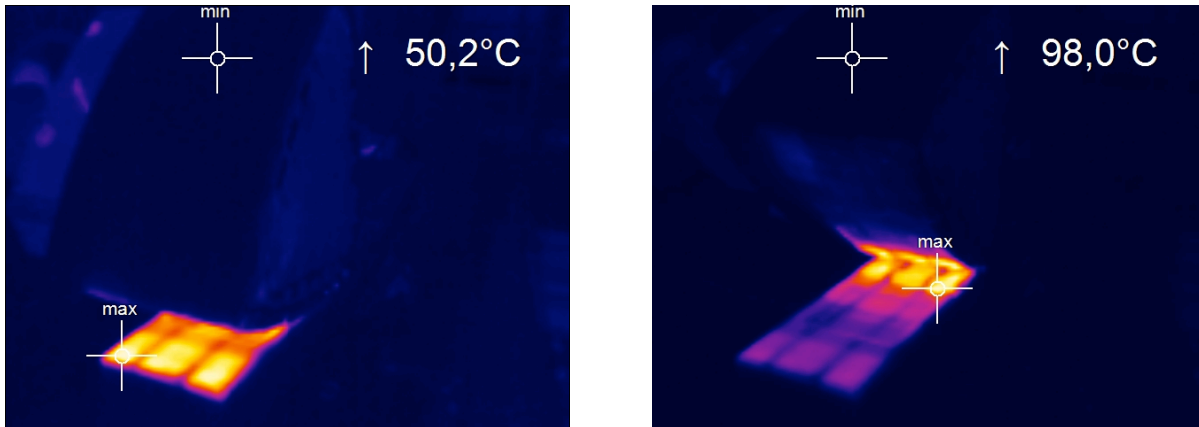


Abbildung 54/55 – Sequenzaufnahmen der Temperaturmessung beim automatisierten P&D.
Beginn der Lagenablage (linkes Bild); Ende der Lagenablage (rechtes Bild)

Die Temperaturmessung beim Heißbügeln wird über eine Temperaturanzeige am Heißbügelsen kontrolliert. Beim RTM-Zyklus kontrolliert ein Werker am Bedienpult den Temperatur- und Druckverlauf.

Anmerkung:

Zyklus Single Diaphragma, siehe [97].

RTM-Zyklus, siehe [98].

Zyklus zum manuellen Heißbügeln, siehe [94].

Gewöhnlich werden die Gewichte der Preforms mit einer elektronischen Waage gemessen. Die Maßhaltigkeit von Strukturbauteilen erfolgt durch Messung mit Schieblehren und 3D Koordinatenmesssystem mit Taster. Zur Bestimmung der Maßhaltigkeit von Strukturbauteilen empfiehlt es sich, ein optisches Messverfahren zu verwenden. Fehlstellen, Einschlüsse und sonstige Ungängen sind mittels eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens wie dem Ultraschallmessverfahren ausfindig zu machen.

10.1.4 Produktionsplanungs- und Steuerungskonzept

Für die Fertigungskonzepte und Varianten zum Front-End ist ein Produktionssteuerungskonzept des Pull-Prinzips nach Alternative 1 geplant. Mit diesem Prinzip ist das Ziel gesetzt, den optimalen Fertigungsfluss und den über den Produktionszeitraum maximalen Produktionsoutput in Erfahrung zu bringen. Das dazu vorgesehene Steuerungskonzept ist an Bedingungen für Ressourcen und Speicher geknüpft. Die PPS der Front-End Konzepte ist in der Abbildung 56 dargestellt.

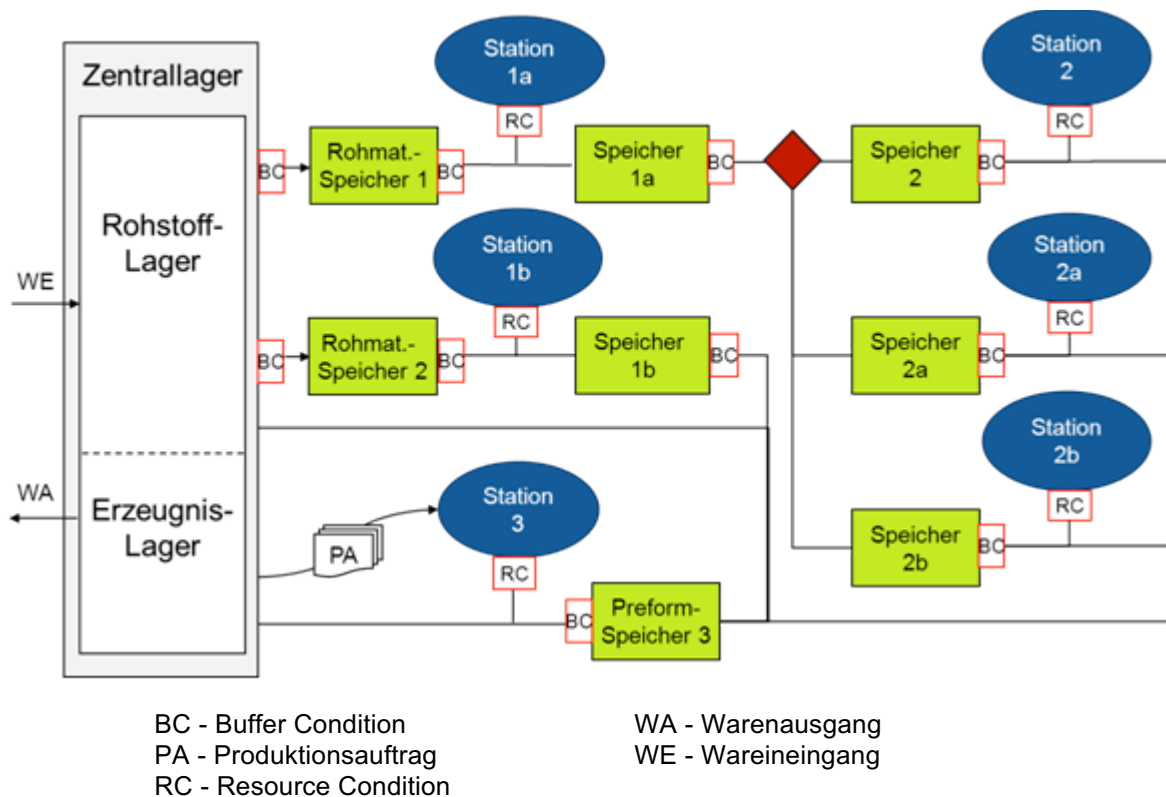


Abbildung 56 – Steuerungskonzept zum Front-End

Anmerkung:

In DELMIA QUEST sind die BC Bedingungen integrierte Attribute sog. *Class Thresholds*.

Das Steuerungskonzept ist für spezifische Fertigungsvarianten um die Stationen und Speicher 2a und 2b erweitert. Sofern die zur Herstellung notwendigen Materialien und Erzeugnisse aus dem Speicher entnommen werden, muss eine Neubelieferung vom Materiallager ausgelöst werden.

Anmerkung:

Die benötigten Rollenmaterialien, Kernwerkstoffe und Harzmenge, können im Rahmen der Produktionsplanung entsprechend der Verwendung mit einer Häufigkeit nachbestellt werden. Fehler und Ausschussteile bleiben beim Bestellvorgang unberücksichtigt. Grundsätzlich ist es aber möglich, die Fehlerquote und deren Auftretswahrscheinlichkeit ebenfalls über die Häufigkeit in den Bestellvorgang einzubeziehen.

10.1.5 Unterstützungsprozesse

Unter der Verwendung von PAT werden in der Konzeptphase die Verarbeitungsschritte zur Einzelteilfertigung von Faserbauteilen vorbereitet, Erzeugnis-Strukturen erstellt, Gewichte ermittelt sowie Arbeitszeiten ausgewertet. Ferner werden Objekte der geplanten Produkte und Vorgänge strukturiert sowie abgeschätzte Fertigungszeiten und Einzelkosten für Material und Personal verwaltet. Die Planung der Produktstruktur erfolgt ausgehend vom Rohmaterial bis zum Faserpreform. Bei der Berechnung der Zeiten und Kosten werden sämtliche Arbeitsschritte in Reihe gefasst. Vorgänge zur Nacharbeit bleiben unberücksichtigt. Abschreibungen für Anlagengüter

sowie Betriebs- und Wartungskosten werden vernachlässigt. Abbildung 57 zeigt den Ablaufplan zur Herstellung eines Faserbauteils am Beispiel des Longerons LH.

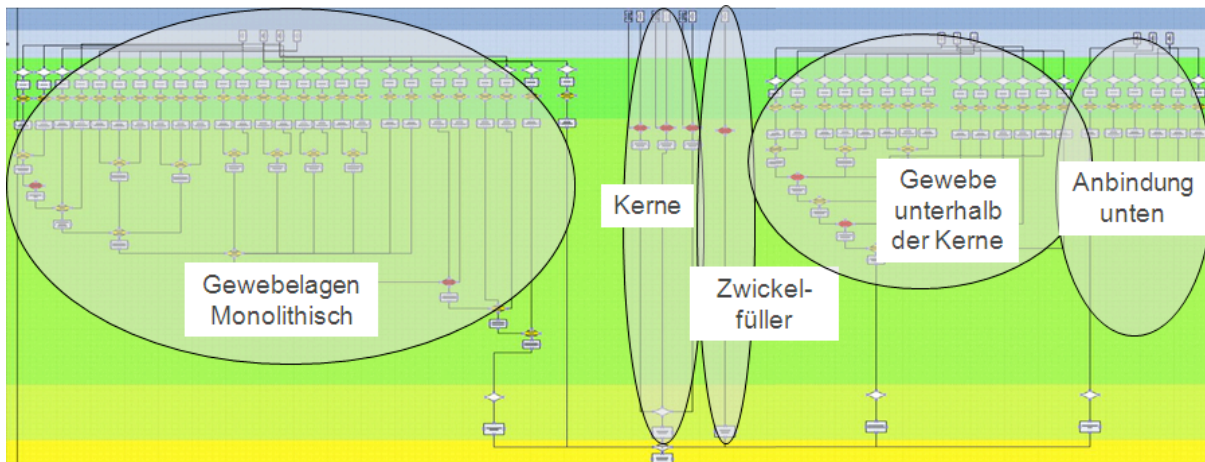


Abbildung 57 - Oberflächendarstellung des PAT-Faserbauteils am Beispiel des Longerons LH

Bei einem Faservolumengehalt von 56% liegt das mit dem PAT-Tool errechnete Gesamtgewicht des Longerons bei rund 3,6 kg. Informationen zur Vorgehensweise und Kostenplanung mit PAT, siehe [98].

10.1.6 Bedienvorgänge

Bedienvorgänge sind Vorgänge zum Einleiten und Beenden von automatisierten Arbeitsschritten, welche vom Werker auszuführen sind. Die Befehle beruhen auf Start, Stopp und Not-Aus Funktionen. Weitere Informationen hierzu, siehe [98].

10.2 Konzepterstellung „Back-End“ Prozesskette

Das IPP Netzwerk unterstützt die Konzepterstellung zur Montage von H/C Strukturbauteilen.

10.2.1 Materialflussprozesse

Bei der Wertschöpfung der H/C Bodengruppe werden allgemeine Materialflussprozesse zur Herstellung von Strukturbauteilen aus Kapitel 10.1.1 berücksichtigt.

Materialfluss-Prozesskette

Im Zentrum der Materialflussprozesskette zur Herstellung der Bodengruppe (Back-End) stehen:

- Die Montage von Frames und Framework,
- Die Montage des montierten Frameworks mit der Bodenschale.

Bei der Erstellung der Materialfluss-Prozesskette zur Montage der Bodengruppe werden Strukturelemente der Wertschöpfung und Logistik sequenziell verknüpft. Die Materialfluss-Prozesskette zum „Back-End“ ist in Abbildung 58 veranschaulicht.

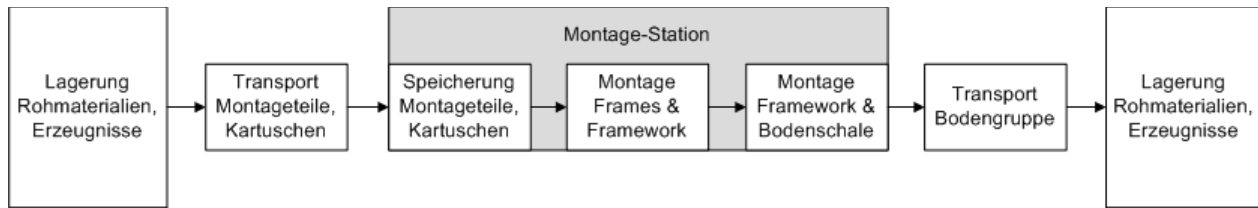


Abbildung 58 – Materialflussplan zum Back-End

Anmerkung:

Integrierte Handhabungsvorgänge der Montage siehe Kapitel 10.2.2. QS- und Prüfkonzpte siehe Kapitel 10.2.3. Kapitel 10.2.4 behandelt das Steuerungskonzept. Unterstützungsprozesse sind in Kapitel 10.2.5 und Bedienvorgänge in Kapitel 10.1.6 erläutert.

Förder- und Transportfunktionen

Neben den allgemeinen Transportfunktionen aus Kapitel 10.1.1 sind die Montageteile der Bodengruppe und Einsatzstoffe vom Lager zur Montagestation von einer Transport-Hilfskraft (TH) mit Transportmittel (TM) zu überführen. Die gefertigte Bodengruppe wird zum Erzeugnislager abtransportiert.

Anmerkung:

Funktionen zum Überführen von Material, Erzeugnissen und Werkzeugen, welche bei der Bearbeitung durchzuführen sind, werden zur Erstellung der Montagekonzepte gesondert behandelt (siehe Kapitel 10.2.2).

10.2.2 Montagekonzepte und Montageprozesse

In einer Voruntersuchung zur Herstellung von H/C Bodengruppen werden innovative Automatisierungskonzepte zur Handhabung von Werkzeugen und Montageteilen mit Roboter entwickelt. Die Produktdaten sind von der Organisation dem Design bereitzustellen. Eine Übersicht der Handhabungskonzepte zur Back-End Prozesskette ist der Abbildung 59 zu entnehmen.

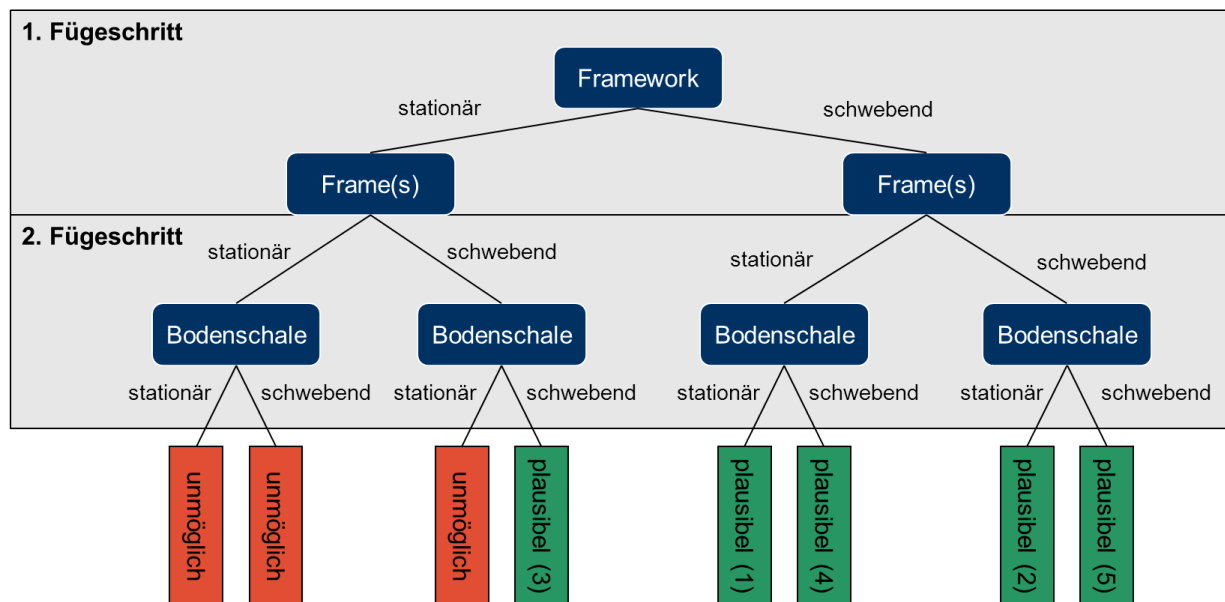


Abbildung 59 – Struktur der Montagekonzepte zum Back-End, vgl. [99]

Konzept 1: Framework Greifer, Framestation, Station Bodenschale

Im Zellenlayout des ersten Konzepts sind Frames und Bodenschale in separate fest stationäre Toolings angeordnet. Zum Positionieren und Einspannen von Frames und Bodenschale werden Werker benötigt. Um die notwendigen Montageprozesse weitestgehend automatisiert durchzuführen sind Framework und Endeffektoren vom Roboter zu handhaben. Zur Bearbeitung bewegen sich die Roboter auf einer linearen Achse. Die Arbeitsweise zum Fügen der Frames nach Montagekonzept 1 ist in der Abbildung 60 dargestellt.

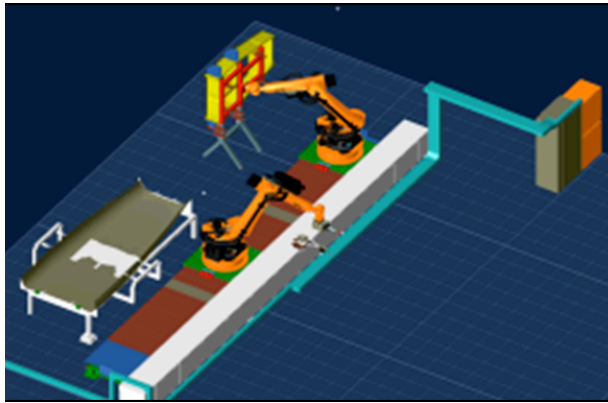


Abbildung 60 – Robotergestütztes Fügen von Frames zum Framework [99,100]

Vorteile:

- Präzise Montage der H/C Bodengruppe
- Hohe Genauigkeit beim Fügen der Frames
- Fügen von bis zu zwei Frames zugleich
- Niedrige Zykluszeit
- Kein Frame-Greifer erforderlich
- Günstige Fertigung

Nachteile:

- Erfordert Lineareinheit
- Erhöhter Platzbedarf der Station erforderlich
- Eingeschränkte Zugänglichkeit beim roboter-gestützten Induktionshärten

Bei diesem Konzept erscheint die Umsetzung sämtlicher Montageprozesse realisierbar. Stationen für Frames und Bodenschale tragen zum Einhalten von Fügetoleranzen am besten bei. Die Fügeschritte lassen sich horizontal zur Oberfläche durchführen, was die Prozessführung und Robotersteuerung vereinfacht. Aufwendungen entstehen für die Auslegung von Effektoren, Vorrichtungen und Bewegungsabläufen.

Konzept 2: Framework Greifer, Frame-Greifer, Station Bodenschale

Dieses Montagekonzept ist geprägt durch eine fliegende Montage der Frames zum Framework und einer stationären Montage des Frameworks im Formwerkzeug zur Bodenschale. Die Frames werden mit einem Roboter und Vakuumsauggreifer seitlich an das Framework adaptiert. Zur Bearbeitung wendet der Roboter Effektoren wie Funktionsköpfe an. Es folgt die Verbindung des Frameworks mit der Bodenschale. Abbildung 61 illustriert das Fügen eines Frames nach Montagekonzept 2.

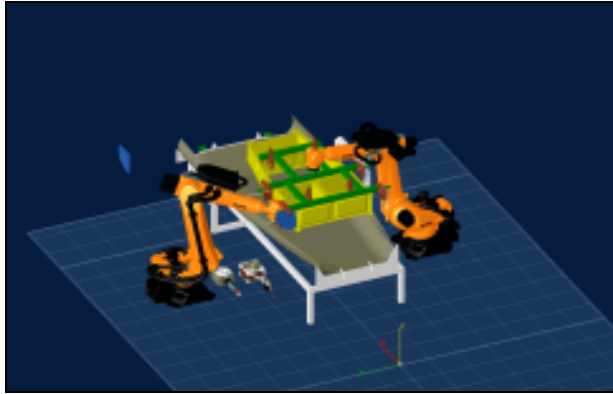


Abbildung 61 – Vollautomatisches Fügen der Frames mit Vakuumsauggreifer [100,101]

Vorteile:

- Gute Erreichbarkeit für Roboter und Effektoren
- Lineareinheit nicht unbedingt erforderlich
- Wenig Arbeitsraum erforderlich

Nachteile:

- Komplexe Toleranzeinhaltung während der Framemontage
- Anspruchsvolle Kraftübertragung beim Fügen der Frames
- Benötigt wird ein kostenaufwendiger Frame-Greifer mit Vakuumananschluss

Der größte Vorteil dieser Montage liegt in der Erreichbarkeit aller Montageteile durch die Roboter. Ein weiterer Vorteil ist die Station für die Bodenschale. Diese sorgt für Stabilität beim Fügen der Bodengruppe. Als Nachteil der fliegenden Montage von Frames zum Framework steht der hohe Aufwand beim Einhalten von Fügetoleranzen.

Konzept 3: Frame-Greifer, Greifer Bodenschale, Station Framework

In diesem Konzept wird das Framework manuell in einem stationären Tooling fixiert. Die Anbauteile zum Framework (Frames und Bodenschale) werden robotergesteuert entlang einer Linearachse bearbeitet (siehe Abbildung 62).

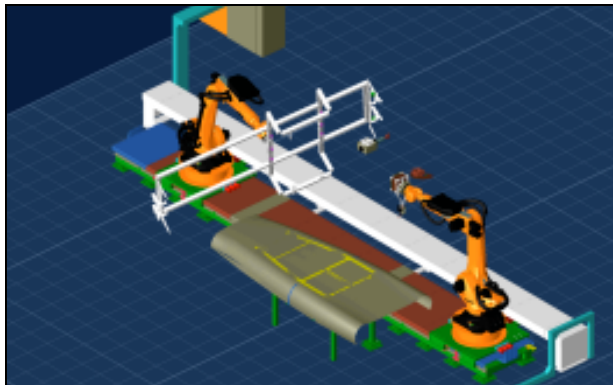


Abbildung 62 – Automatisiertes Fügen der Montageteile zur Bodengruppe [99,100]

Vorteile:

- Sicheres Positionieren des Frameworks zur Referenzebene (Fußboden)
- Wenig Arbeitsraum erforderlich

Nachteile:

- Komplexe Greifer für die große Bodenschale und Frames erforderlich
- Erschwerte Kraftübertragung beim Fügen zur Bodengruppe
- Aufwendiges Positionieren und Montage der Bodenschale mit Roboter und Effektoren
- Linearachse wird benötigt

Dieses Konzept lässt eine gute Toleranzeinhaltung beim Fügen erwarten, da das stationäre Tooling des Frameworks eine gute Referenzfläche zur Oberfläche darstellt. Zur Handhabung der flexiblen Bodenschale wird jedoch ein großer Greifer notwendig. Die Zugänglichkeit beim Härten von vereinzelt Punkten ist nicht gewährleistet, nachdem sich auf der Außenseite zur Bodenschale ein Blitzschutz befindet. Zum Ansteuern der Verbindungsstellen mit Roboter und Funktionskopf muss gewährleistet sein, dass die Verbindungsstellen zur Bodengruppe von der Innenseite her angefahren werden können. Ein Drehtisch zum Rotieren des Frameworks o.a. eine Armverlängerung am Roboter wird benötigt und führt zu höheren Kosten.

Konzept 4: Framework-Greifer, Greifer Bodenschale, Framestation

Bei diesem Montagekonzept positioniert ein Werker die Frames in einer Framestation. Ein Roboter übernimmt die Aufgabe, das Framework und die Frames zusammenzuführen. Ein zweiter Roboter nutzt Funktionsköpfe zur Bearbeitung und Greifer zur Handhabung der Bodenschale. Die Montage der H/C Bodengruppe wird schwebend durchgeführt (siehe Abbildung 63). Eine spezifische Variante ist die Integration einer externen Klebestation (siehe Abbildung 64).

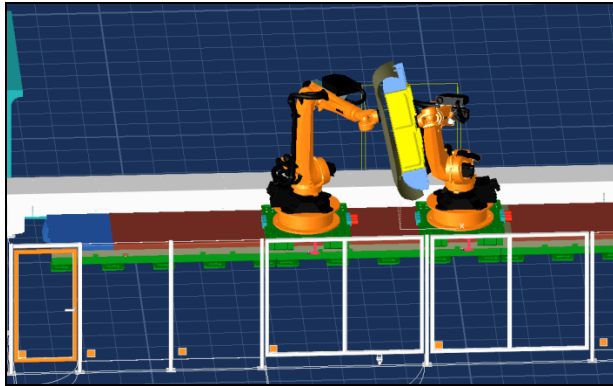


Abbildung 63 – Fliegende Montage zur Bodengruppe [100,102]

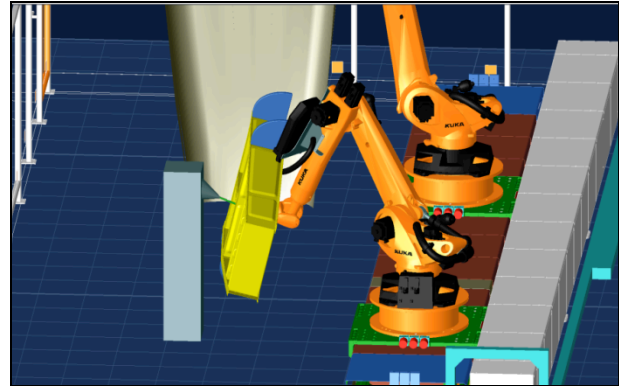


Abbildung 64 – Externe Klebestation [102]

Vorteile:

- Gute Zugänglichkeit beim Kleben und Fügen
- Flexible fliegende Montage
- Hoher Automatisierungsgrad

Nachteile:

- Unzureichende Kraftübertragung beim Fügen von Framework und Bodenschale mit Roboter
- Komplexe Bahnsteuerung
- Aufwendige Handhabung der Bodenschale
- Hohe Kosten für Greifer und Sensoren
- Vielzahl an Werkzeugwechseln

Vorteile:

- Weniger Werkzeugwechsel erforderlich
- Kostengünstige Konstruktion der Klebedüse

Nachteile:

- Aufwendige Toleranzeinhaltung bei der Bahnsteuerung zum Klebstoffauftrag
- Geringere Flexibilität beim Kleben
- Erschwerte Zugänglichkeit beim Kleben großer Montageteile wie z.B. der Bodenschale

In Konzept 4 sticht die hohe Flexibilität der robotergestützten Werkzeugführung positiv hervor. Hingegen stellt sich die kontrollierte Handhabung und Bewegung der formweichen Bodenschale als komplex dar. Eine große Herausforderung ist die Fixierung beim Fügen der Frames und des Frameworks innerhalb vorgegebener Toleranzen. Nach dem Fügen der Bodenschale kollidiert der Funktionskopf innerhalb der Bodengruppe. Rotationselemente für Werkzeuge werden erforderlich. Ferner ist der Roboter nicht im Stande, die benötigte Kraft aufzubringen, um das Framework zur Bodenschale schwebend zu fügen.

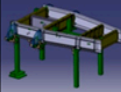
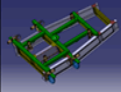

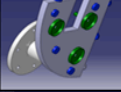
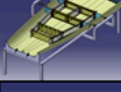

Konzept 5: Framework-Greifer, Greifer Bodenschale, Framestation

Das fünfte Konzept ähnelt stark dem Konzept 4, mit dem Unterschied, dass beim Fügen die Frames zum Framework robotergestützt mit Frame-Greifer zugeführt werden. Dieses Automatisierungskonzept ist höchst flexibel. Sämtliche Montageteile können frei schwebend im Kollisionsraum der Roboter gehandhabt und schnell montiert werden. Beim Fügen des Frameworks

mit der Bodenschale reicht die Kraft vom Roboter jedoch nicht aus, um die Montageteile zusammenzuführen.

Konzeptbewertung

Abbildung 65 ist die Bewertung für Greifer- und Spannvorrichtungen der Montagekonzepte zu Grunde gelegt. Die CAD Zeichnungen für Einspann- und Greifvorrichtungen stammen vom DLR-ZLP in Augsburg [99].

Einspann- und Greifvorrichtung			K1	K2	K3	K4	K5
Framework	Station				-		
	Greifer		+	+		+	+
Frame	Station		+			+	
	Greifer			-	-		-
Bodenschale	Station		++	++			
	Greifer				-	-	-

++ stark positive Bewertung

+ positive Bewertung

- negative Bewertung

Abbildung 65 – Konzeptbewertung auf Basis von Einspann- und Greifvorrichtung

Aus dem Ergebnis der Bewertung lässt sich schließen, dass die Konzepte 3 und 4 für eine Umsetzung nicht geeignet sind. Konzepte 1 und 2 werden für die Szenarioplanung in Erwägung gezogen.

Montageprozesse

Bei der Untersuchung der (teil-) automatisierten Montage von H/C Strukturbauteilen werden die vorab erläuterten Fertigungsverfahren betrachtet. Die davon abgeleiteten Montageprozesse sind:

- Plasma aktivieren
- Klebstoff auftragen
- Fügen durch Anpressen
- Induktionshärten

Um die möglichen Fertigungslösungen für die Montage zukünftiger H/C Bodengruppen spezifizieren zu können, dient eine generische Prozesskette der Montage. Der Ablauf zur modernen (teil-) automatisierten Montage ist dem Prozessgraphen in Abbildung 66 zu entnehmen.

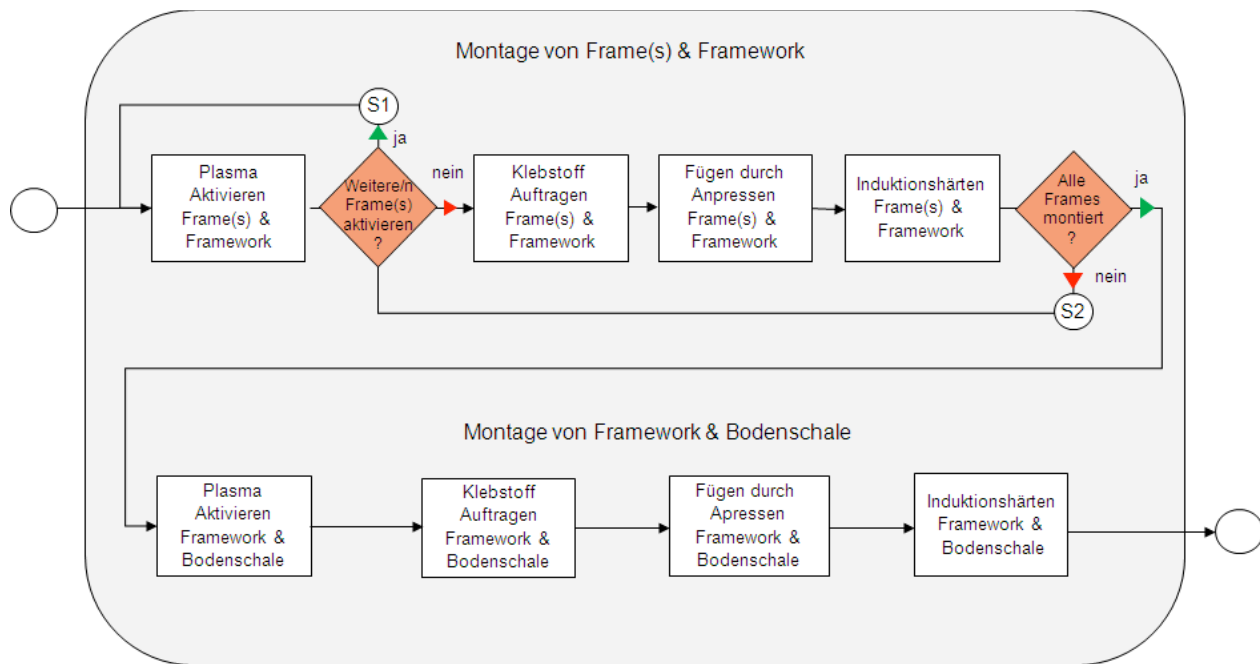


Abbildung 66 – „Back-End“ Prozesskette am Beispiel der geplanten Montage von H/C Bodengruppen

Anmerkung:

Die Operationen der Handhabung fallen zwischen und während der Fertigungsschritte des Prozessgraphen an. Die Zeitpunkte zur Positionierung, Speicherung, Justierung, Sicherung und Qualitätskontrolle des Teilespektrums sind in der Prozesskette zur Montage nicht eingebunden.

Der Prozessgraph zum Back-End beinhaltet damit weitere Varianten. Bei der Auslegung der Prozesskette zur Montage ist zu beachten, dass die Vorbehandlung umgehend und ohne großartigen Zeitaufwand vor den Montageschritten des Klebstoffauftrags und des Fügens zu erfolgen hat. Die Montage der Frames zum Framework und des montierten Frameworks zur Bodenschale ist diesbezüglich in Reihe gestellt und wird getrennt untersucht, vor allem deshalb, da voraussichtlich ein erheblicher Zeitaufwand bei der Anbindung der Frames in Anspruch genommen wird und Unterbrechungen im laufenden Montagebetrieb als sehr wahrscheinlich einzustufen sind. Die entscheidungsrelevanten Prozessknoten unterteilen die Konzeptvarianten in die Vorbehandlung und das Fügen der Frames zum Framework. Konzeptrelevante Schleifen (S) sind mit Ziffern versehen. Varianten zum Klebstoffauftrag sind für die Montage des montierten Frameworks und der Montage zur Bodengruppe gleichermaßen bestimmt. Der Back-End Prozesskette liegen folgende Montagevarianten zu Grunde:

Konzeptvarianten zur Montagevorbehandlung von Frames und Framework:

- Plasmaaktivierung einmalig für alle Frames
- Plasmaaktivierung unmittelbar vor jedem Fügeschritt (3xS1) bzw. (1xS1)

Montagevarianten beim Klebstoffauftrag:

- Einseitiger Klebstoffauftrag, auf jeweils nur einem Fügeteil
- Beidseitiger Klebstoffauftrag, auf jedem Fügeteil und allen Fügestellen

Montagevarianten zum Fügen von Frames zum Framework:

- Fügen von je einem Frame zum Framework (3xS2)
- Fügen von zwei Frames zugleich (1xS2)

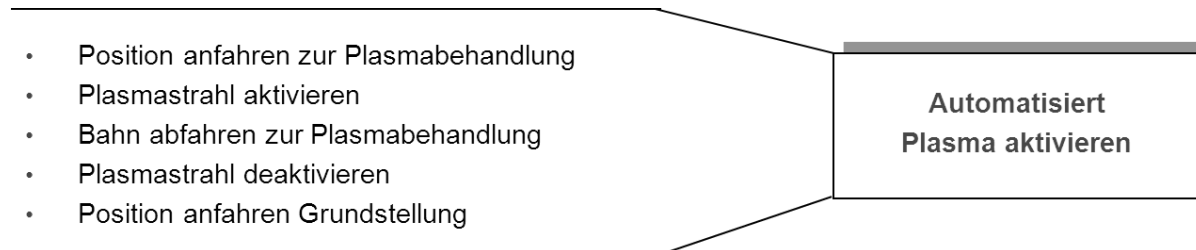
Anmerkung:

Die Oberflächenvorbehandlung unmittelbar vor jedem Fügeschritt steht in Abhängigkeit von den Montagekonzepten zum Fügen.

A) Automatisiert Plasma aktivieren

Gegenwärtig werden im Hubschrauberbau zumeist die vorgesehenen Fügebereiche manuell angeschliffen und anschließend mit Lösungsmittel entfettet und gesäubert. Dieser Vorgang hat jedoch nur einen makroskopischen Einfluss auf die Fügeflächen. Durch die Plasmaaktivierung werden vor allem kleinere Partikel entfernt. Grobkörnige Partikel werden jedoch nicht kontaminiert. Bei Aktivierung der Fügeflächen mit Atmosphärenplasma wird die Oberflächenenergie angehoben, was die Adhäsionskräfte in der Klebeverbindung erhöht und zu einer besseren Benetzung der mit Shimm-/Klebstoff zu applizierenden Fügeflächen führt. Neben einer guten Oberflächengüte und verbesserten Haftungseigenschaften können bis auf weiteres Vorteile durch die Automatisierung erzielt werden. Die Plasmavorbehandlung ist dabei mit Roboter und adaptierter Plasmadüse durchzuführen. Mit dieser Ausführung wird eine hoch zuverlässige, reproduzierbare und ökonomisch effiziente Oberflächenvorbehandlung von Strukturbauteilen angestrebt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für große Fügezonen das Ansteuern mehrerer Bahnen vorzusehen ist.

Die Vorgänge zur automatisierten Plasmavorbehandlung der Fügeflächen sind wie folgt:



Des Weiteren sind die wesentlichen Einflussgrößen und Parameter zur Plasmaoberflächenvorbehandlung für H/C Bodengruppen erläutert.

Behandlungsbereich: Der mit Plasmagas zu behandelnde Bereich entspricht den Fügeflächen der Montageteile Frames, Framework und Bodenschale. In der angefügten Abbildung 67 sind die zu behandelnden Fügestellen der Montageteile hervorgehoben.

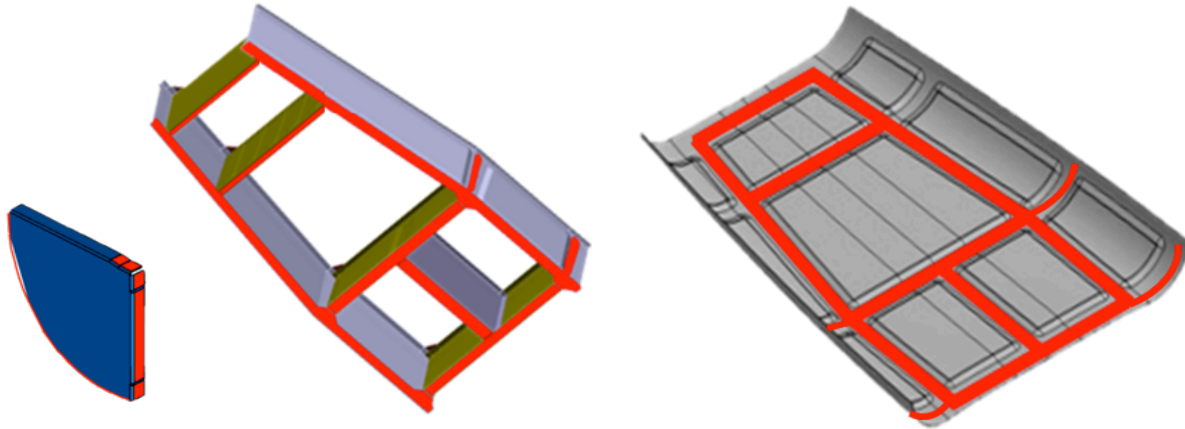


Abbildung 67 – Behandlungsbereich der Montageteile Frames (links), Framework (mitte) und Bodenschale (rechts), vgl. [103]

Der zu behandelnde Oberflächenbereich eines Frames entspricht zirka $0,03\text{m}^2$. Für Framework und Bodenschale liegt der Behandlungsbereich gleichermaßen bei rund $0,71\text{m}^2$.

Plasmagas: Zur Anwendung kommt gereinigte Druckluft.

Druck: Der Druck zur Plasmavorbereitung wird auf 2,5bar eingestellt.

Düsenabstand: Der maßgebende Abstand vom Auslass der Plasmadüse zur Werkstückoberfläche ist mit zirka 10mm spezifiziert [104].

Anstellwinkel: Die Behandlung der Fügeflächen mittels Plasmadüse hat senkrecht zur Werkstückoberfläche zu erfolgen.

Positionier- und Verfahrensgeschwindigkeit: Die Positioniergeschwindigkeit der Klebedüse wird vom Roboter bestimmt. Die Verfahrensgeschwindigkeit der Plasmadüse ($V_{f_{pa}}$) wird auf 4,8m/min festgelegt [104].

Behandlungsbreite: Diese entspricht beim Plasmaaktivieren dem Querschnitt des effektiven Plasmastrahls und ist abhängig von Abstand, Leistung und Durchmesser der Plasmadüse. Ein grober Plan- und Anhaltswert zur Behandlungsbreite ist der Durchmesser am Auslass der Plasmadüse. Die Behandlungsbreite des Plasmafunktionskopfes wird mit 5mm gewählt. Von dieser lässt sich der Bahnversatz ableiten.

Bahnlänge: Die Bahnlänge zum Plasmaaktivieren entspricht der Länge, die ohne Unterbrechung für eine Fügefläche abzufahren ist. Diese wird auf Basis der Produktdaten für den spezifischen Behandlungsbereich der Montageteile berechnet.

Überlappung: Die Überlappung entspricht dem Bereich der Überschneidung von zwei mit Plasma zu aktivierenden Oberflächen. Diese ist abhängig von der Düsenöffnung, der Leistung des Plasmastrahls und dem Abstand des TCP der Plasmadüse zur Bauteiloberfläche.

Anmerkung:

Zul. Toleranzen beim Plasmaaktivieren werden im APQP festgelegt.

Das Plasmaaktivieren der Oberflächen wird mittels Roboter und der Atmosphären-Druck-Plasma (ADP) Funktionseinheit untersucht (VPP siehe Anhang A3). Arbeitsschritte der Plasmabehandlung sind in den Abbildungen 68 und 69 dargelegt.

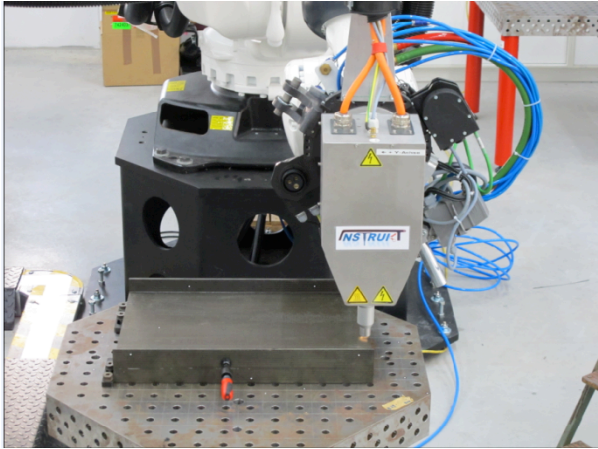


Abbildung 68 – Plasmabehandlung der Fügeflächen zum Longeron

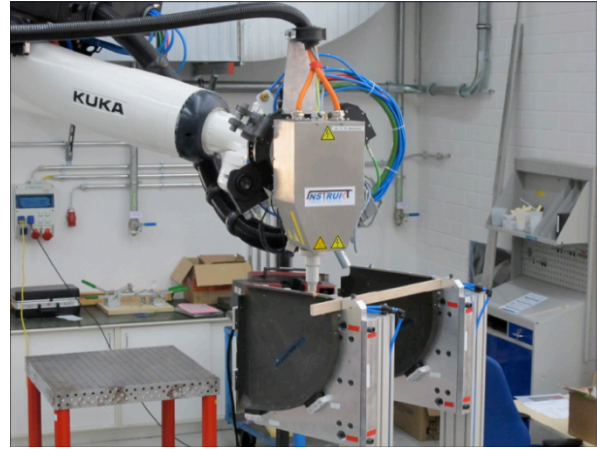


Abbildung 69 – Plasmabehandlung der Fügeflächen eines Frames

Im Versuch zur Plasmavorbehandlung eines Frames werden vier Bahnen in Spur nebeneinander abgefahren. Für die Anbindungen zum Framework sind acht Spurlängen zu behandeln. Eine zügige Plasmavorbehandlung der Fügeflächen aus CFK Strukturbauteilen ist gewährleistet.

Anmerkung:

Über die zul. Dauer von der Aktivierung bis zur Klebung liegen keine Angaben vor. Diese sollte künftig untersucht werden.

B) Automatisiert Shimm-/Klebstoff auftragen

Zum Verbinden der Montageteile sind die Fügezonen robotergestützt mit Klebeapplikationskopf (KAK) und unter der Verwendung von Shimm-/Klebstoff zu applizieren. Der Shimmstoff dient dabei als Ausgleichsmasse von Fügespaltmaßen. In Abhängigkeit zum Fügespalt wird eine definierte Klebstoffmenge programmgesteuert durch eine beheizte Klebedüse hindurchgedrückt und auf die Fügestellen aufgetragen. Bei der Shimm-/ Klebeapplikation zur Bodengruppe sind sowohl einseitiger als auch beidseitiger Klebstoffauftrag denkbar. Im Folgenden sind die Vorgänge und Einflussfaktoren zum automatisierten Klebstoffauftrag erläutert:

- Position anfahren zum Kleben
- Klebstoff ausdrücken und Bahn abfahren
- Klebedüse deaktivieren
- Position anfahren Grundstellung

**Automatisiert
Klebstoff auftragen**

Shimm-/Klebstoff: Neben den chemischen und physikalischen Eigenschaften wie Zusammensetzung, Art und Menge bestimmen mitunter die fertigungs- und verarbeitungsgerechten Eigenschaften die Wahl und Verwendung des Shimm- bzw. Klebstoffes. Details zu Shimm-/Klebstoffen sind der jeweiligen Herstellerspezifikation zu entnehmen.

Oberflächengüte: Diese ist abhängig vom Werkstoff, von der Oberflächenreinigung und Aktivierung. Für Klebstoff beanstandete Oberflächenaktivierungen zum Back-End liegen dem Prozess des Plasmaaktivierens zu Grunde.

Düsenabstand: Der Düsenabstand vom TCP der Düsen Spitze zur Werkstückoberfläche wird auf 2mm festgelegt [105].

Anstellwinkel: Bei der Klebeapplikation ist der Anstellwinkel von der Werkzeugachse der Klebedüse zur Klebefläche auf zirka 60° einzustellen, damit eine gleichmäßige kontrollierte Kleberaupe entsteht [105].

Dosierung: Die Dosierung der Klebstoffmenge ist abhängig vom Fügespalt, der Klebefläche und dem Verhalten des Shimm-/Klebstoffes beim Aushärten. Zum Ausgleichen von Spaltmaßen wird die Dosierung auf Basis der maximal zul. Fügespaltmaße für ausgehärtete Shimmstoffe berechnet. Eine optimale Dosierung des Klebstoffes ist im Hinblick auf die jeweilige Klebstoffapplikation zu prüfen.

Behandlungsbereich: Der Behandlungsbereich zum Shimmen oder Kleben weist unterschiedliche Höhen und Breiten auf, deren Fügespaltmaße bereits vor und nach dem Fügen zu vermessen sind. In der Planungsphase sind die Klebeflächen aus den technischen Zeichnungen auszulesen. Im Falle des beidseitigen Klebstoffauftrags stimmen die Klebeflächen mit dem Behandlungsbereich zur Plasmavorbehandlung überein (siehe Abbildung 67). Beim einseitigen Klebstoffauftrag entsprechen die Klebeflächen ausschließlich den gelb markierten Bereichen der Frames und des montierten Frameworks (Abbildung 70).

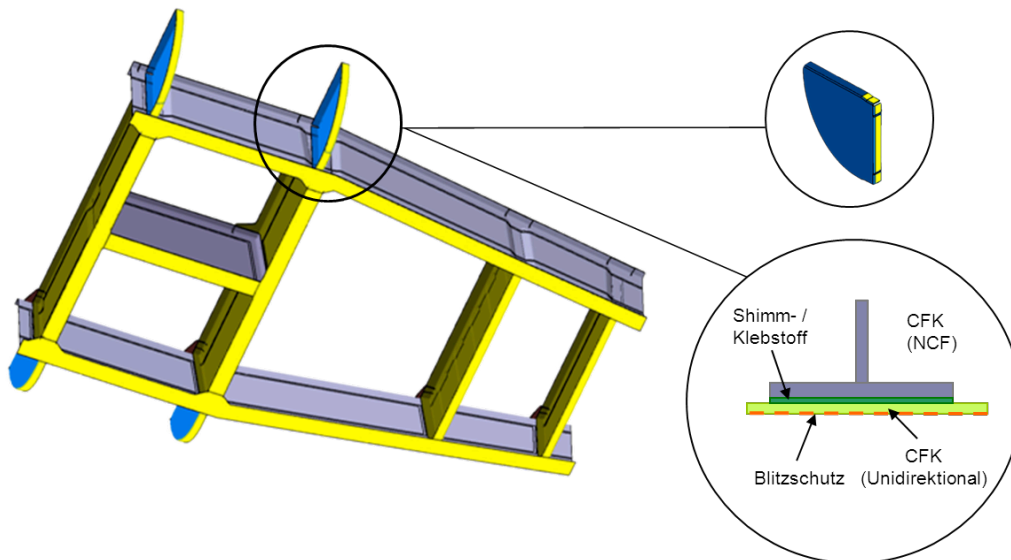


Abbildung 70 – Klebeflächen der Frames und des Framework, vgl. [103]

Anmerkung:

Erfahrungsgemäß wird eine bessere Anhaftung erzielt, sofern der Klebstoff auf beiden Fügeflächen aufgetragen wird. Grund hierfür ist, dass sich auf der Oberfläche der Kleberaupe eine Grenzschicht ausbildet, welche die Haftungseigenschaften mindert. In der fortlaufenden Planung wird von einem beidseitigen Klebstoffauftrag ausgegangen.

Kleberaupe: Ein grober Anhaltswert zur Breite der Kleberaupe ist der Durchmesser der Klebedüse. Klebeversuche des IVW haben gezeigt, dass die Kleberaupe beim Klebstoffauftrag von den Parametern Auftragsgeschwindigkeit, Düsendurchmesser, Düsendruck, Düsenabstand, Volumenstrom sowie Fließverhalten und Viskosität des Klebstoffes abhängt.

Anmerkung:

Für die Klebung von Fügeflächenbreiten größer als die der Düsenbreite muss entweder die Verfahrensgeschwindigkeit beim Klebstoffauftrag reduziert werden oder aber es werden mehrere in Spur nebeneinander aufzutragende Bahnen erforderlich.

Bahnlänge: Die Bahnlänge zum Kleben entspricht der Länge, die ohne Unterbrechung für eine Klebstoffapplikation abzufahren ist. Unter Berücksichtigung der zul. Kleberaupenbreite wird diese für jeweilige Klebeflächen berechnet.

Positionier- & Verfahrensgeschwindigkeit: Einen erheblichen Einfluss auf die Prozesszeit zum Kleben nimmt neben dem Positionieren vor allem die Verfahrensgeschwindigkeit beim Klebstoffauftrag ein. Während das Positionieren maßgeblich vom Arbeitssystem Roboter und Klebedüse bestimmt ist, wird die Verfahrensgeschwindigkeit beim Auftragen von Shimm-/Klebstoffen mit 1,5m/min gewählt.

Anmerkung:

Die zulässigen Parameter zur Geschwindigkeit sind über qualitative Versuche nachzuweisen.

Bei der Versuchsdurchführung zum automatisierten Klebstoffauftrag (siehe VPP Anhang A3 und A4) wird ein Epoxidklebstoff verwendet. Die Arbeitsschritte zum Kleben der Versuchsbauteile aus INSTRUKT sind in den Abbildungen 71 und 72 dargestellt.

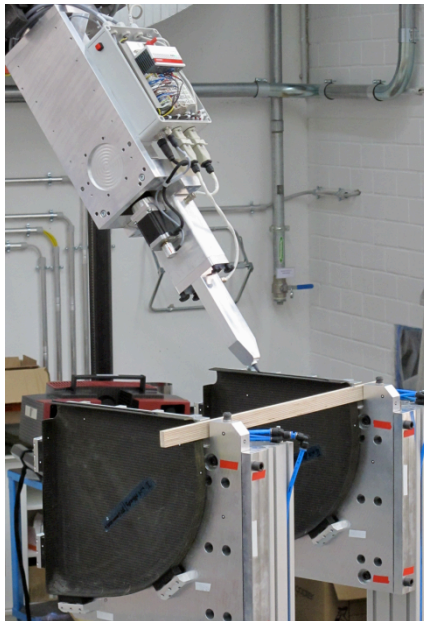


Abbildung 71 – Automatisierter Klebstoffauftrag auf den Frames



Abbildung 72 – Automatisierter Klebstoffauftrag auf der Bodenschale

Nach einem anfänglich kurzen Probelauf ist der Klebstoffauftrag gewährleistet. Zur Anbindung der Montageteile wird auf jeder Seite der Fügeteile Klebstoff in einer Spurlänge appliziert. Mit einer Verfahrensgeschwindigkeit des robotergestützten Klebekopfes von 4,2m/min lässt sich eine gleichförmige Kleberaupe ablegen.

Anmerkung:

Beim strukturellen Kleben ist das Auflegen eines Distanzgewebes gesondert zu behandeln. Weitere Informationen zum Kleben finden Sie in der folgenden Literatur [106].

C) Fügen durch Anpressen

Eine wesentliche Herausforderung der Back-End Montage ist das automatisierte Fügen mit hohen Anpresskräften. Eine Untersuchung am DLR-ZLP hat ergeben, dass die maximale Anpresskraft des verwendeten Industrieroboters nicht ausreicht, um das Framework mit der Bodenschale bei zulässigem Fügespalt zusammenzuführen [64].

Anmerkung:

Falls eine Gleichverteilung der Fügekräfte beim Anpressen der Bodenschale auf Frames und Framework nicht erzielt werden kann, so muss die Fugekraft bereits im Vorfeld eingeleitet werden. Eine Maßnahme ist die Einspannung über die Framevorrichtung.

Fügeflächen: Diese entsprechen dem Behandlungsbereich der Oberflächenvorbehandlung.

Fügespalt: Zul. Fügespaltmaße beim Shimmen sind in Kapitel 8.1 grundgelegt.

Krafteinleitung: Zum Andrücken der Bodenschale sind acht Angriffspunkte zur Krafteinleitung über die Hebelmechanik an der Vorrichtung zur Bodengruppe auf dem Framework-Greifer vorgesehen.

Füge-/ Anpresskraft: Die erforderliche Fugekraft richtet sich nach dem Fügespalt, der Spannvorrichtung (Krafteinleitung) und Viskosität des Shimm-/Klebstoffes. Für die Montage des teilmontierten Frameworks auf die Bodenschale wird eine Fugekraft von rund 60 kN benötigt [64].

Das roboterbasierte Fügen durch Anpressen von Frames und Longerons ist mit einem Montage-test zur Frameanbindung nachzuweisen (VPP siehe Anhang A3 und A4). Gefügt werden zwei Frames zugleich (siehe Abbildung 73).

Anmerkung:

Je nach Ausführung kann das Verspannen der Fügeteile mit Fügehilfen und Spannwerkzeugen manuell erfolgen o.a. vollautomatisch über Roboter und Greiferwerkzeug mit pneumatischer Verriegelung.

In einem Montageversuch der INSTRUKT Bodengruppe lässt sich das Fügen durch Anpressen des montierten Frameworks auf die Bodenschale über eine Spannvorrichtung der Bodengruppe sicherstellen (Abbildung 74).

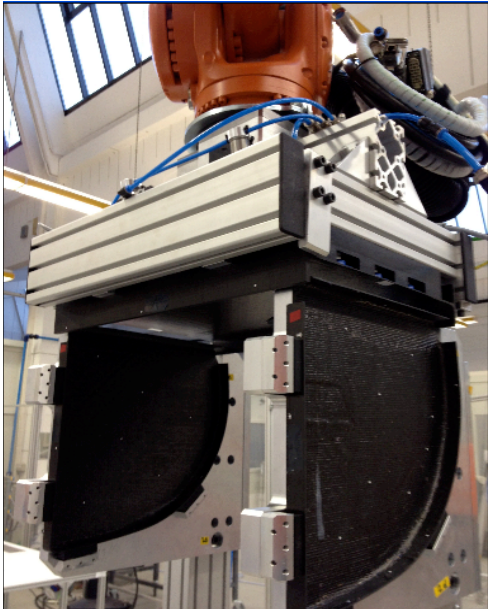


Abbildung 73 – Anpressen der Frames mit Roboter und Greiferwerkzeug



Abbildung 74 – Einspannen und Anpressen von Framework und Bodenschale

D) Automatisiert Induktionshärten

Das Induktionshärten (engl. „Spot Curing“) dient zum punktuellen Schnellaushärten von mit Klebstoff applizierten Fügezonen. Ausgewählte Bereiche der Fügeteile werden mit einem Induktor aktiviert, wonach die Fügezonen unter definierter Temperatur aushärten. Über induktiv ausgehärtete Fügestellen kann ein Materialverbund zur weiteren Verarbeitung freigegeben werden, sofern eine Qualitätsprüfung erfolgt. Der beim Spot Curing eingeleitete Bauteilverbund wird erzielt, wenn die Fixierpunkte ausreichend Festigkeit aufweisen. Ein in der frühen Phase eingeleiteter Materialverbund reduziert die zur Selbstaushärtung anfallenden Stand- und Liegezeiten von Bauteilen. Die Vorgänge des automatisierten Induktionshärtens sind wie folgt:

- Position anfahren zum Härten
- Kontrolliert Aufheizen
- Kontrolliert Halten
- Induktionskopf deaktivieren
- Position anfahren Grundstellung
- Abkühlen auf Temperatur

**Automatisiert
Induktionshärten**

Inspizierte Einflussparameter beim induktiven Härten mit Roboter und IEK sind nachfolgend aufgeführt.

Behandlungsbereich: Der effektive Behandlungsbereich ist die parallel zugeordnete Kontaktfläche der Induktorspule zur Kontaktfläche des zu behandelnden Bauteils.

Positionier- und Vorschubgeschwindigkeit: Der Vorschub des Induktionskopfs wird mit 200mm/s angenommen. Die Positioniergeschwindigkeit richtet sich nach dem Arbeitssystem Roboter und IEK.

Induktorabstand: Der Abstand des Induktors zur Werkstückoberfläche wird auf 10mm eingerichtet [107].

Anstellwinkel Induktorspule: Der Anstellwinkel des Induktors zur Werkstückoberfläche ist mit 90° einzustellen, damit die Kontaktfläche der Induktorspule dem Behandlungsbereich parallel gegenübersteht.

Aufheizrate: Die Aufheizrate beim induktiven Härten ist abhängig von der Leistung des Induktors, dem wärmeleitenden Medium und den wärmeleitenden Eigenschaften der Fügestelle am Bauteil. Die Aufheizrate zum induktiven Härten der Fügeteile wird über thermische Vermessung des Temperaturanstiegs über die Zeit bestimmt. Der Temperaturanstieg wird mit einem Pyrometer bestimmt. Das verwendete Pyrometer kann die Heizrate im Bereich von 1-20 K/min regeln [108]. Die zul. Aufheizrate verwendeter Shimmstoffe zu Airbus Helicopters wird auf 10 K/min festgelegt [109].

Härtepunkte: Für den Zusammenbau der Bodengruppe sind nach einer Einschätzung 25 Härtepunkte angedacht. Dabei sind zwei Punkte zur Anbindung von je einem Frame zum Framework und weitere 17 Punkte zur Anbindung des montierten Frameworks an die Bodenschale vorgesehen. Die Position der Aushärtepunkte ist in Abbildung 75 dargestellt.

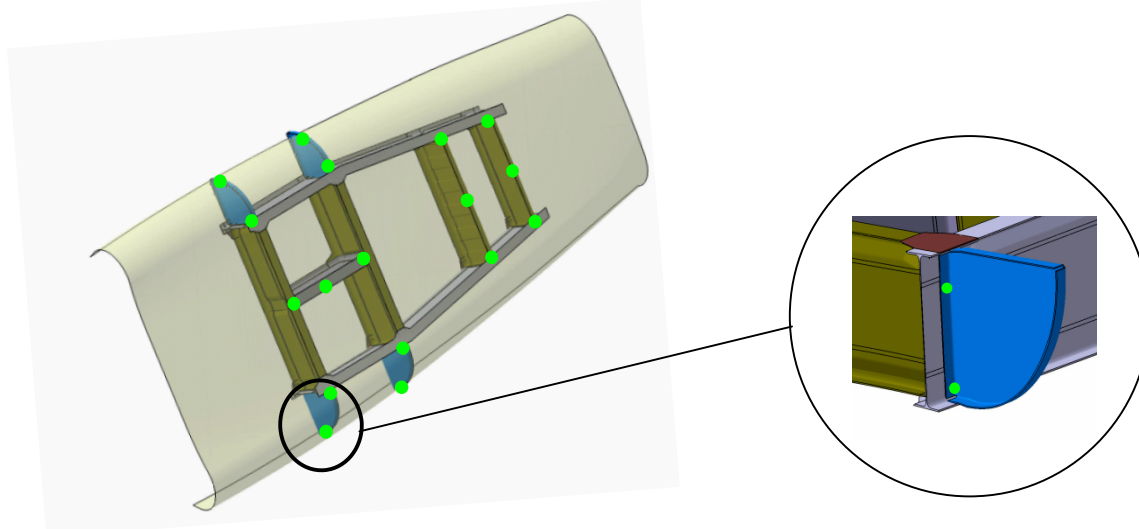


Abbildung 75 – Aushärtepunkte zum Spot Curing von Frames, Framework und Bodengruppe, vgl. [103]

Temperatur und Haltezeit: Parameter zur Aushärtung von Shimm-/Klebstoffen mittels Induktor siehe [109]. Die Haltezeit ist abhängig von Abstand, Wärmestrom und Wärmeleitung des Induktors auf der Werkstückoberfläche. Der tatsächliche Temperaturverlauf in der Aufheiz- und Haltephase ist zu prüfen.

Das induktive Erwärmen von Fügestellen ist mit Roboter und Induktionskopf durchzuführen (VPP siehe Anhang A3 und A4). Die Abbildungen 76 und 77 zeigen den Arbeitsablauf beim induktiven Härten der Strukturbauteile beim montierten Framework und der Bodengruppe.

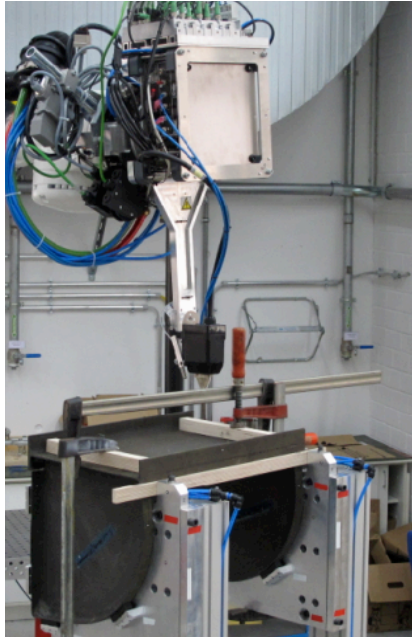


Abbildung 76 – Induktionshärten der Frameanbindung

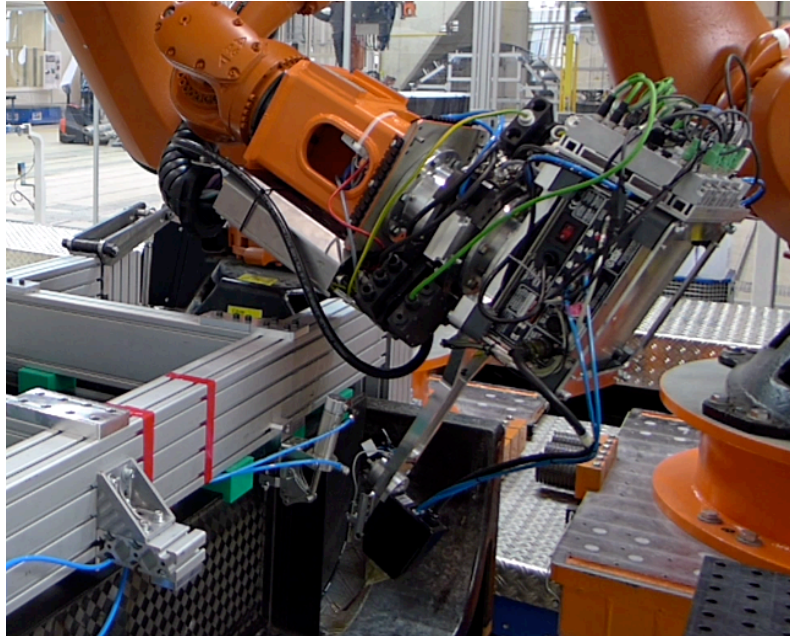


Abbildung 77 – Induktionshärten der Bodengruppe

Der vom IVW entwickelte Induktor erfüllt die gesetzten Anforderungen und Einstellungen des automatisierten Induktionshärtens von Strukturbauteilen.

10.2.3 Konzepte und Prozesse der Qualitätsprüfung

Die Prüfplanung sieht vor, dass von der Qualitätsorganisation festgelegte Merkmalswerte zu fügender und gefügter Bauteile der Bodengruppe vermessen und geprüft werden können. Hierfür sind sowohl Zeitpunkte der Prüfung als auch Prüfort zu bestimmen (siehe Abbildung 78).

M = Montage
P = Prüfen
→ = Montageteile

Zeitpunkt der Prüfung	Prüfort innerhalb der Roboterzelle	Prüfort außerhalb der Roboterzelle
Während der Montage	M – P → M – P	-----
Zwischen den Montageschritten	M → P → M → P	
Nach vollständiger Montage	M → M → M → P	

Abbildung 78 – Prüfkonzpte zum Back-End, nach [69]

Grundsätzlich sind Messungen, welche unmittelbar während der Montage anfallen, durchweg innerhalb der Montagezelle durchzuführen. Darin eingeschlossen sind das Prüfen und Messen des Anpressdrucks beim Fügen und des Temperaturverlaufs beim induktiven Härten. Für die Gewichtsmessung der vollständig gefertigten Bodengruppe ist geplant, ein etabliertes Qualitäts-

prüflabor in Anspruch zu nehmen. Das Prüfen und Messen von Fügespaltmaßen innerhalb oder außerhalb der Montagezelle ist abzuwägen.

Prüfung innerhalb der Montagezelle	Prüfung außerhalb der Montagezelle
Vorteile	Vorteile
<ul style="list-style-type: none">- Wenig Raumbedarf und geringe Flächenkosten- Wenig Zeitbedarf und Kosten beim Transport von Werkstücken und Werkzeugen- Schnelle „On-Flight“ Messung- Keine Zusatzkosten für Vorrichtungen- Vermessung in der Montagevorrichtung führt zu weniger Arbeitsaufwendungen	<ul style="list-style-type: none">- Flexible Installation von Prüf- und Messsystemen in separater Messzelle- Gute Durchlauffreizügigkeit durch parallele Arbeitsweise von Montage und Messung- Vereinfachte Zugänglichkeit beim Prüfen- Benutzer- und wartungsfreundliche Bedienung der Messsysteme
Nachteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">- Eingeschränkte parallele Montagearbeiten zur Messung und Prüfung von Fügespaltmaßen- Unterbrechungen der Montagekette durch Prüf- und Messvorgänge	<ul style="list-style-type: none">- Erhöhte Investitionen für separate Messzelle, Vorrichtungen und Roboter- Mehr Platzbedarf und zunehmende Flächenkosten für separate Messzelle- Hoher Zeitanteil und Kosten für Transport

Bei der Auswahl des Prüfkonzepthes zum Vermessen von Fügesubstraten und Fügespaltmaßen stehen die Kosten und Investitionen sowie der benötigte Platzbedarf zur Prüfung im Vordergrund. Von geringerer Bedeutung sind Eigenschaften der Durchlauffreizügigkeit, Zugänglichkeit und andere. Die Investitionen zur Integration von Messsystemen in die Fertigungszelle sind niedriger gegenüber der Anschaffung einer separaten Messzelle. Im Hinblick auf die moderne Montage zum Back-End sind somit Qualitätsmessungen innerhalb der Montagezelle geplant. Im Folgenden werden Zeitpunkt der Prüfung und Prüfort bestimmt.

Prüfung vor dem Fügen:

- Messen Fügesubstrate

Prüfung während der Montage:

- Temperaturverlauf beim Induktionshärten
- Anpressdruck beim Fügen

Prüfung zwischen den Fertigungsfolgen:

- Vermessung der Fügespaltmaße

Prüfung nach dem Fügen:

- Vermessung der Fügespaltmaße
- Gewichtsmessung

Modifizierte Back-End Prozesskette

Die modifizierte Back-End Prozesskette aus Abbildung 79 integriert Prozesse zur Qualitätskontrolle (Q).

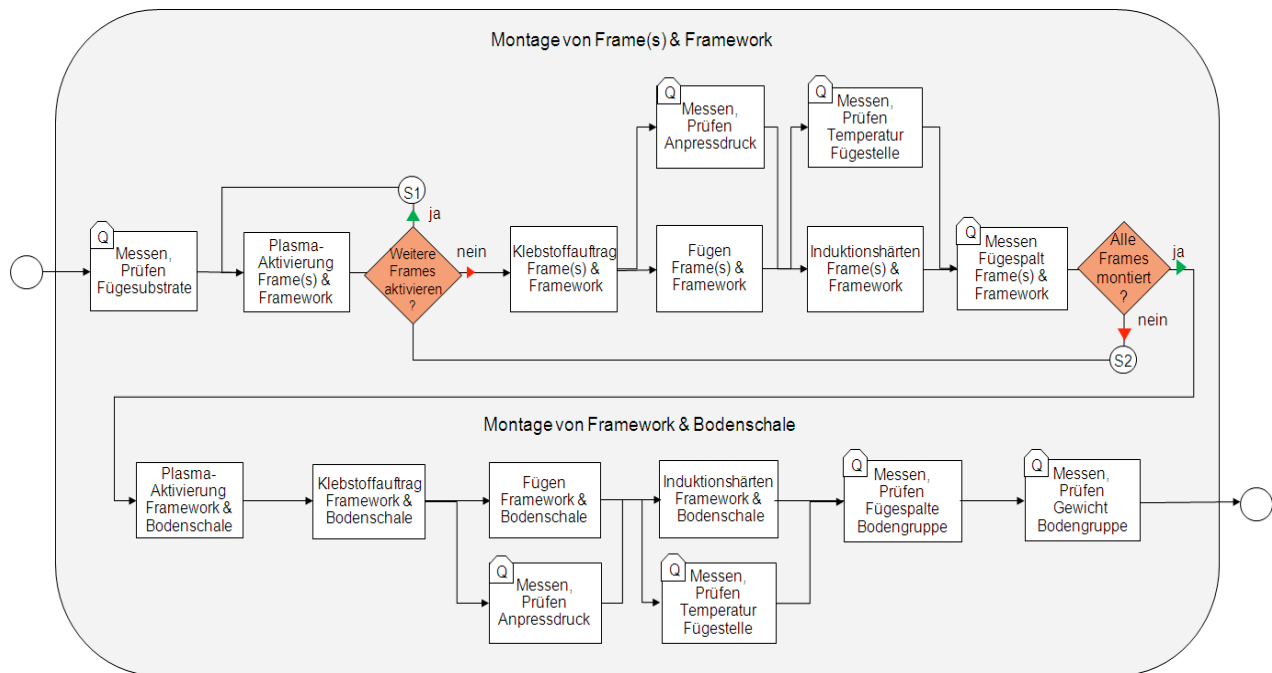


Abbildung 79 – Modifizierte Back-End Prozesskette mit integrierter Qualitätsprüfung

Messen / Prüfen Fügesubstrate und Fügespaltmaße

Die Dimensionen der Montageteile einschließlich Lage und Position sind in der Frame-Station zu vermessen und zu prüfen. Zur Bestimmung der geometrischen Spaltmaße ist ein Oberflächenmessgerät vorgesehen (siehe Kapitel 13.2.2). Weitere Informationen zum Messen von Fügesubstraten und Fügespaltmaßen, siehe [110].

Messen / Prüfen Anpressdruck

Über Kraftmessdosen und/oder Dehnmessstreifen lässt sich der Anpressdruck beim Fügen von Frames und Framework ermitteln.

Anmerkung:

Im Prototypenbau werden keine Fügekräfte gemessen. Für die Serienfertigung ist das Prüfen und Messen von Anpresskräften erstrebenswert.

Messen / Prüfen Temperaturverlauf Fügestellen

Während des induktiven Schnellaushärtens ist durch Messung und Prüfung sicherzustellen, dass die vorgesehene Härtetemperatur am Bauteil erreicht wird. Die Messung des Temperaturverlaufs ist mit einem am Induktionskopf befindlichen Pyrometer vorzunehmen.

Messen / Prüfen Gewicht Bodengruppe

Durch Gewichtsmessung ist das Gesamtgewicht der Bodengruppe in Erfahrung zu bringen.

Im Zuge eines Montagetests zur Anbindung der Frames an die Longerons sind Position und Lage der Montageteile sowie deren Fügspaltmaße zu vermessen (VPP siehe Anhang A3). Die Messung und Prüfung der Fügspaltmaße erfolgt auf einem Drehkipptisch innerhalb der Montagezelle. Der Ablauf des Prüfens und Messens der gefügten Struktur ist in den Abbildungen 80 und 81 dargestellt.



Abbildung 80 – Sichtprüfung Fügstellen



Abbildung 81 – Position und Lageerkennung der gefügten Struktur

Im Anschluss an die Messung der Strukturdaten des gefügten Bauteils folgt eine fundierte Analyse der Messergebnisse. In einem ersten Schritt werden die berechneten Spaltmaße vor dem Fügen analysiert. Aus dem digital generierten Messmodell (Abbildung 82) kann die Größe des Fügespalt zur Anbindung der Frames an Hand der Werteskala ausgelesen werden.

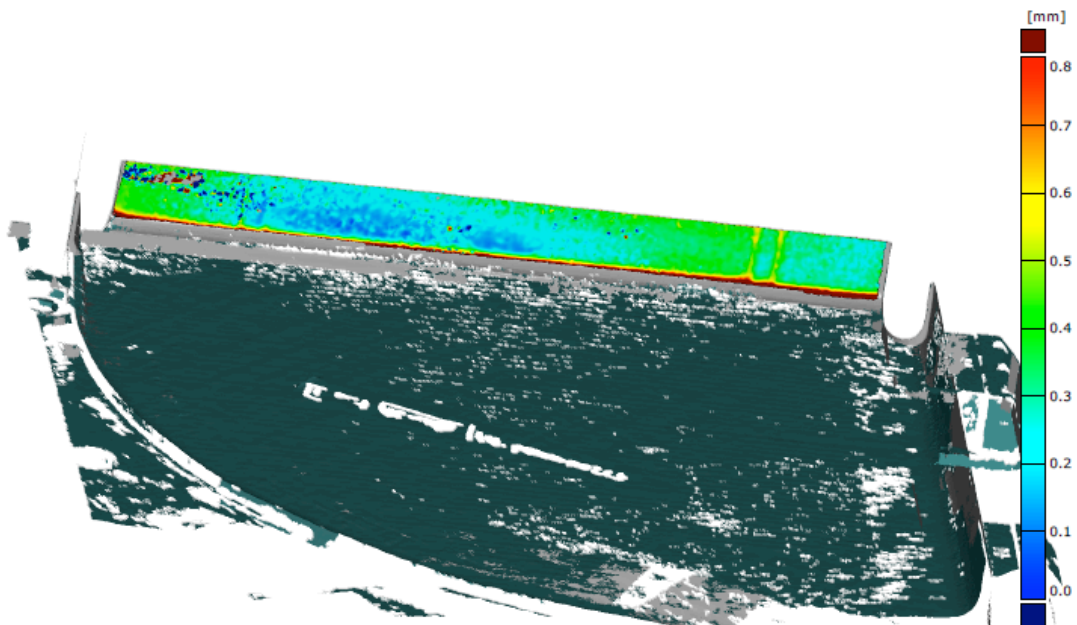


Abbildung 82 – Gemessener Fügspalt zu Frame A vor dem Fügen

Aus der Messung der Fügesubstrate zur Frameanbindung ergibt sich ein Fügspalt von zwischen 0,1 bis 0,5mm. Im Mittel entspricht der zuvor gemessene Fügspalt rund 0,3mm.

Es folgt die Auswertung der Verformung des T-Trägers nach dem Fügen (siehe Abbildung 83).

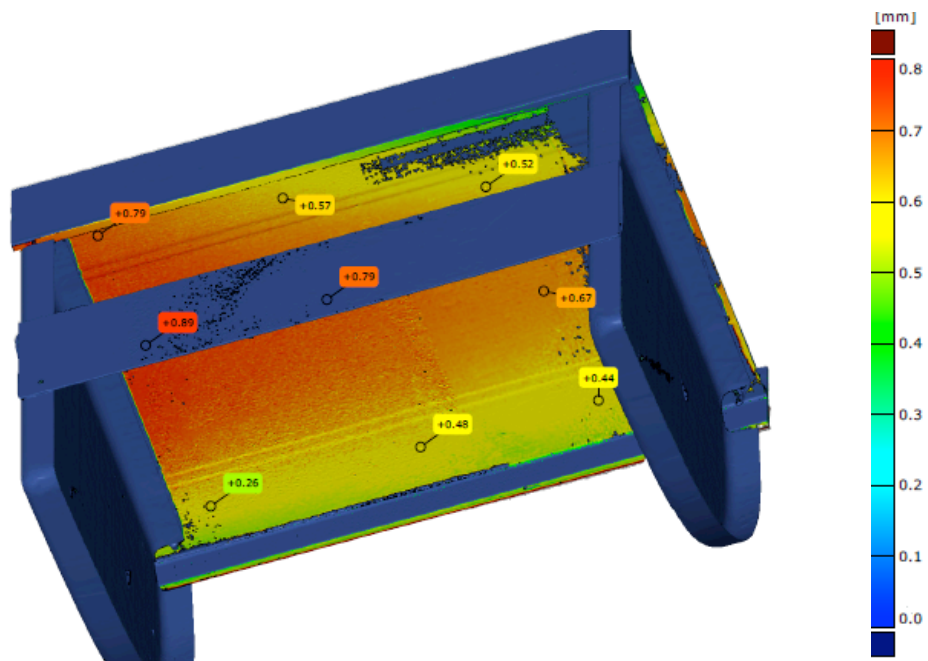


Abbildung 83 – Gemessene Verformung des T-Trägers nach dem Fügen

Die gemessene Verformung des T-Trägers liegt bei zwischen 0,3 bis 0,9mm. Der auffällig hohe Verformungsbereich ist auf die mit Schraubzwingen realisierte Einspannung der Fügeteile zurückzuführen.

Darauffolgend ist die nach dem Fügen gemessene Verformung der Frameanbindung zu bestimmen. Deren Verformungsbereich ist in Abbildung 84 veranschaulicht.

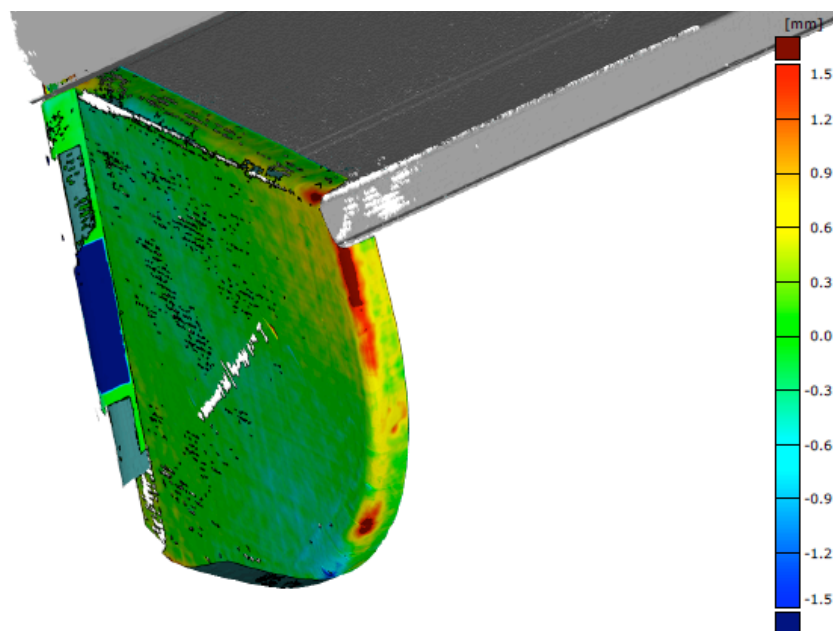


Abbildung 84 – Gemessene Verformung von Frame A nach dem Fügen

Die max. Verformung von Frame A liegt nach dem Fügen gemessen unterhalb von 0,3mm. Messdaten zum Fügespalt siehe Abbildung 85.

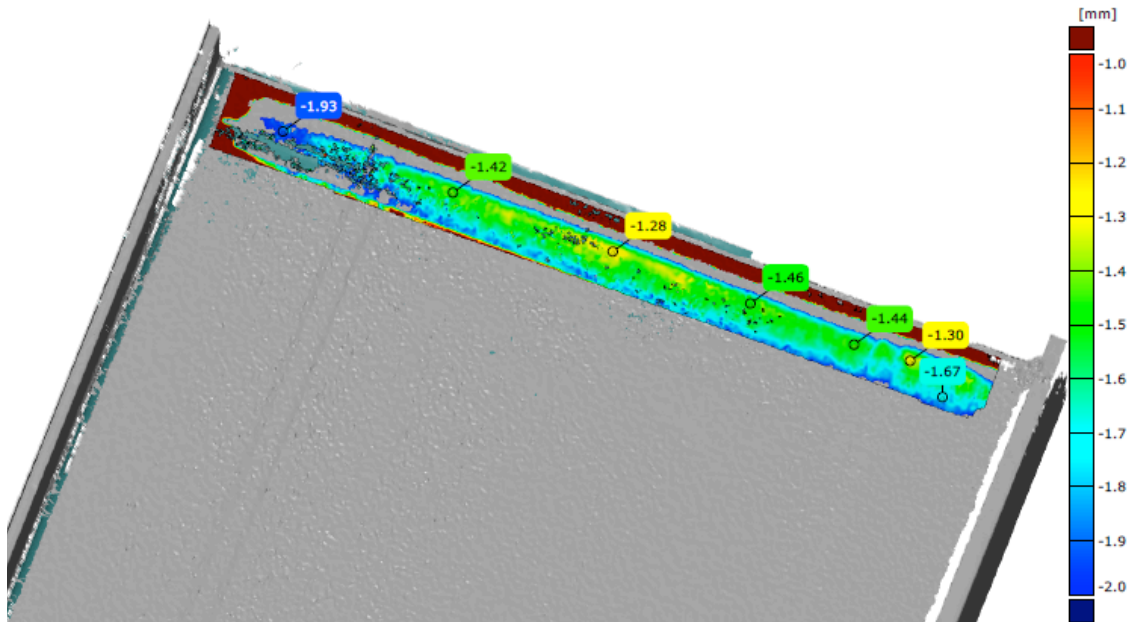


Abbildung 85 – Gemessener Fügespalt nach dem Fügen

Der gemessene Fügespalt liegt von der Referenzfläche o.a. Bezugsachse betrachtet im Bereich von -1,3 und -1,7mm.

Unter Einbeziehung der Verformung ist der tatsächliche Fügespalt zu bestimmen. Abbildung 86 stellt Absolutwerte des tatsächlichen Fügespaltess dar.

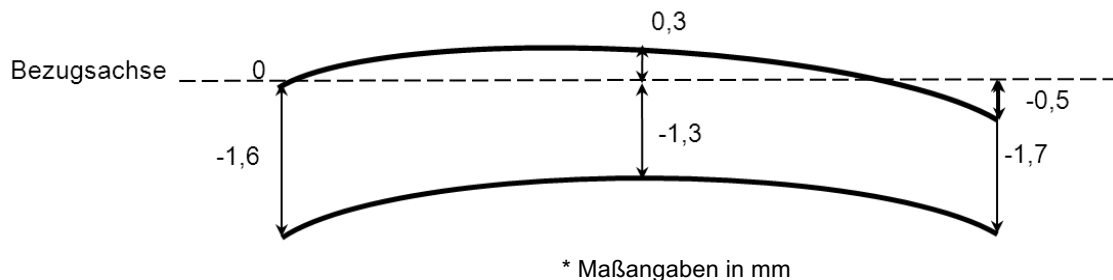


Abbildung 86 – Berechnete Fügspaltmaße und Berücksichtigung der Verformung

Der maximal resultierende Fügspalt liegt bei rund 1,6mm.

Anmerkung:

Die Werte beziehen sich auf die Referenzfläche, von welcher der Fügspalt gemessen wird. Die Bezugsachse der gemessenen Verformung ist von der Bezugsachse des gemessenen Fügspaltes aufgrund des Best-Fit der Modelle verschoben. Um eine einheitliche Bezugsachse zu erhalten, wird diese Verschiebung vom tatsächlichen Fügspalt subtrahiert. Die Abweichung der Bezugsachsen liegt in diesem Fall bei 0,8mm. Die Dicke des Distanzgewebes ist mit 0,1mm in die Berechnung der Fügspaltmaße mit eingeflossen.

10.2.4 Produktionsplanungs- und Steuerungskonzept

Um einen reibungslosen Produktionsfluss und einen optimalen Produktionsausstoß zu erzielen, ist für das Back-End eine Produktionssteuerung nach dem Pull-Prinzip zu Alternative 2 geplant. Das vorgesehene Steuerungskonzept ist in Abbildung 87 dargestellt.

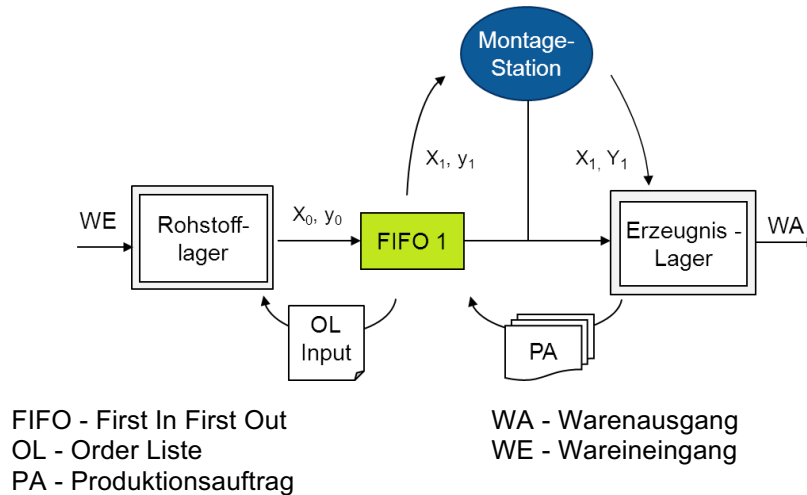


Abbildung 87 – Produktionsplanungs- und Steuerungskonzept der Montageszenarien 1 und 2

Sofern die zur Montage notwendigen Materialien und Bauteile aus dem Speicher entnommen werden, muss eine Neubelieferung vom Materiallager ausgelöst werden. Der PA richtet sich hierzu nach der TPZ und erfolgt über einen *request* Befehl in Form strukturierten Textes.

Anmerkung:

Fehler und Ausschussteile bleiben beim Bestellvorgang unberücksichtigt. Grundsätzlich ist es aber möglich, die Fehlerquote und deren Auftretswahrscheinlichkeit über die Häufigkeit in den Bestellvorgang einzubeziehen.

10.2.5 Unterstützungsprozesse

Bei der Produktionsplanung werden Unterstützungsprozesse zur Erstellung der Arbeitspläne, Programmierung und Simulation sowie zur Aufnahme und Durchführung von Änderungen angewendet. Ferner wird für die Pflege und Wartung von Programmen und Softwaretools die Unterstützung einer Systemadministration wie dem Anwendersupport beanstandet.

Anmerkung:

Des Weiteren gelten allgemeine Bedienvorgänge für Arbeitssysteme, siehe Kapitel 10.1.5.

10.3 Entwurfsszenarien

Im Anschluss an die Konzeptplanung werden respektive der Anforderungsmerkmale (Kapitel 8) Entwurfsszenarien (Sz) entwickelt und mit den Methoden und Tools (Kapitel 7) der IPP ausgiebig untersucht.

Front-End Szenarien

Die technisch realisierbaren Integralkonzepte und die nach dem gegenwärtigen Stand der Technik bereits etablierte Herstellung von Framework Strukturbauteilen aus FVK in differentialer Bauweise stellen jeweils eigene Entwurfsszenarien dar.

Szenario 1: (Teil-) Automatisiertes Preforming durch Pick & Drape, Pick & Weld, Manuell Heißbügeln, Infiltration und Aushärtung im RTM-Verfahren

Szenario 2: (Teil-) Automatisiertes Preforming durch Single Diaphragma, Manuell Heißbügeln, Infiltration und Aushärten im RTM-Verfahren

Szenario 3: Manuelles Preforming durch „Heißbügeln“, Infiltration und Aushärtung im RTM-Verfahren

Szenario 4: Manuelles Prepreglegen, Aushärtung im Autoklaven und manuelle Montage

Back-End Szenarien

Im Rahmen der Szenarioplanung zum Back-End werden Entwurfsszenarien mit ausgewählten Varianten zur (teil-) automatisierten Montage entwickelt und untersucht. Die verifizierten Fertigungskonzepte stellen dabei die wesentlichen Szenarien dar. Zuvor definierte Schleifen der Back-End Prozesskette bilden die Varianten der zu untersuchenden Montageszenarien.

Szenario 1: Station Bodenschale, Framework-Greifer, Framestation

Variante 1: Einmalige Vorbehandlung und einfache Fügung von Frames und Framework
Abfolge: S2→S1→S2→S1→S2→S1

Variante 2: Zweifache Vorbehandlung und Fügung von Frames und Framework
Abfolge: S2→S1

Szenario 2: Station Bodenschale, Framework Greifer, Frame Greifer

Einmalige Vorbehandlung für alle Frames und einfache Fügung je Frame
Abfolge: S2→S2→S2

Die Entwurfsszenarien werden über eine Qualitätsanalyse sowie statische und dynamische Prozessdatenmodelle ausgewertet und verglichen. Dazu werden ergonomische Aspekte hinsichtlich der Anforderungen (siehe Kapitel 8.5) untersucht.

10.4 Qualitätsanalyse

Mit der QFD werden die wesentlichen Kundenanforderungen und Qualitätsmerkmale zur Herstellung von H/C Strukturbauteilen im House of Quality gegenübergestellt. Darüber hinaus sind über die Gewichtung, die Abhängigkeitsverhältnisse von Kundenanforderungen zu denen spezifizierter Qualitätsmerkmale und der Qualitätsmerkmale zueinander aufgezeigt. Über die Gewichtung der Qualitätsmerkmale und durch Bewertung der Fertigungsszenarien sind die Technologien der (teil-) automatisierten Szenarien mit denen herkömmlicher Szenarien zu vergleichen.

Technologievergleich Front-End

Der Technologievergleich der Fertigungsszenarien zum Front-End ist mit dem House of Quality in Abbildung 88 veranschaulicht. Die Kunden sind Produktionsmitarbeiter der Back-End Prozesskette.

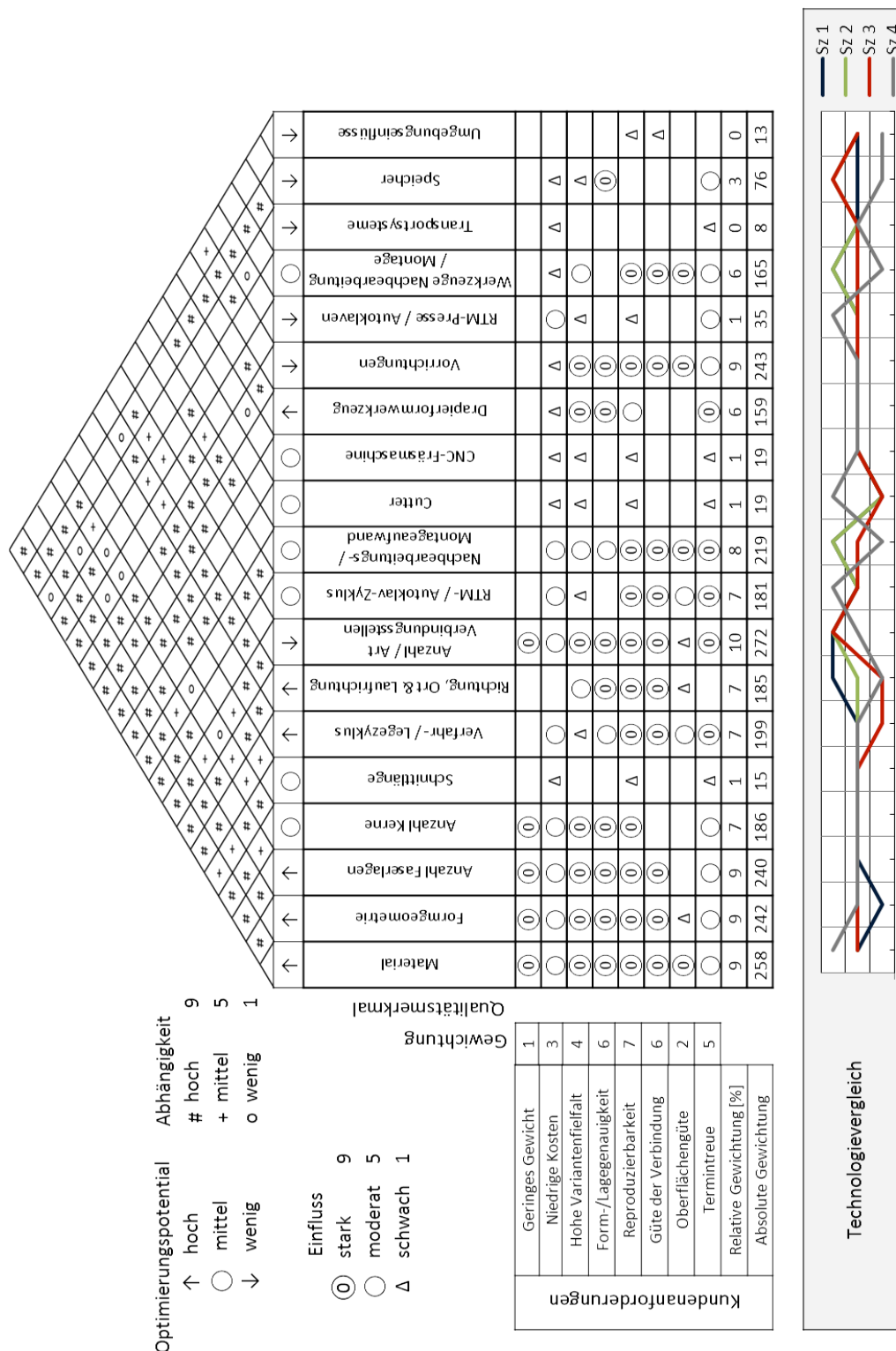


Abbildung 88 – House of Quality und Technologievergleich zum Front-End

Der Gewichtung von Kundenanforderungen zu Folge ist die Reproduzierbarkeit das massgebendste Kriterium. Ebenfalls stark gewichtete Kundenanforderungen sind die Güte der Verbindung sowie die Form- und Lagengenauigkeit. Darauf folgen die Termintreue, die

Gewährleistung einer hohen Variantenvielfalt, niedrige Kosten, Oberflächengüte und ein geringes Gewicht der Teile. Die am stärksten gewichteten Qualitätsmerkmale in der Teilefertigung von Strukturbauteilen sind Anzahl und Art der Verbindungsstellen, Materialtyp und Materialeigenschaften sowie die Art und Beschaffenheit der Vorrichtungen. Die Rangordnung weiterer gewichteter Qualitätsmerkmale liegt dem House of Quality zu Grunde.

Nach Betrachtung der qualitativen Merkmalswerte sind die Haupteinflussmerkmale Kundenanforderungen, Materialeigenschaften, Anzahl und Art der Verbindungsstellen und die Anzahl der Faserlagen. Unter ganzheitlicher Betrachtung der Qualitätsmerkmale wird über den Technologievergleich deutlich, dass Sz 2 die im Durchschnitt höchsten Wertungen zuzuweisen sind. Bezüglich Anzahl und Art der Verbindungsstellen, Nachbearbeitungs- und Montageaufwand sowie für die einfache Ausführung und Beschaffenheit von Speichereinrichtungen hat Sz 2 die besten Wertungen erhalten. Die qualitativen Stärken von Sz 1 sind auf eine gute Ausführung der Verbindungsstellen sowie reproduzierbare Arbeitsabläufe durch automatisierte Bahnsteuerung von Richtung, Ort und Laufrichtung und für die Montage geringen Aufwendungen mit einfachen Werkzeugen zur Nacharbeit zurückzuführen. Weit schwieriger gestalten sich die Realisierung gleichmäßiger Schnittkanten von bebinderten Faserhalbzeugen mit dem Cutter sowie das Einhalten der Formgeometrie von trockenen Preforms gegenüber Prepregmaterialien. Durch manuelles Drapieren in Sz 3 und Heißbügeln in Sz 4 sind unkoordinierte Bewegungsabläufe die Folge unregelmäßiger Drapierzyklen. Ungleichmäßige Legezyklen wie Unsicherheiten in der Anlernphase von Werkern wirken sich zum Nachteil auf die Reproduzierbarkeit, Güte der Verbindung, Form- und Lagegenauigkeit, einschließlich der termingerechten Bereitstellung von Erzeugnissen, aus.

Die stärksten Abhängigkeiten einzelner Qualitätsmerkmale auf die anderen Qualitätsmerkmale wird über das Dach zum House of Quality verdeutlicht. Hierzu tragen das Material, die Formgeometrie, Anzahl Faserlagen und Kernwerkstoffe, Richtung, Ort und Laufrichtung, Drapierformwerkzeuge und Vorrichtungen zu den bedeutendsten Abhängigkeiten bei. Es ist festzustellen, dass bereits geringfügige Änderungen im Material oder der Formgeometrie signifikante Auswirkungen auf sämtliche Qualitätsmerkmale von Prozessen und Ressourcen zur Folge haben.

Technologievergleich Back-End

Mit dem House of Quality lassen sich die Qualitätsmerkmale und Technologien der untersuchten Back-End Szenarien vergleichen (siehe Abbildung 89). Der Kunde sind die Werker der anschließenden Montagestation zur Anbindung des H/C Oberdecks.

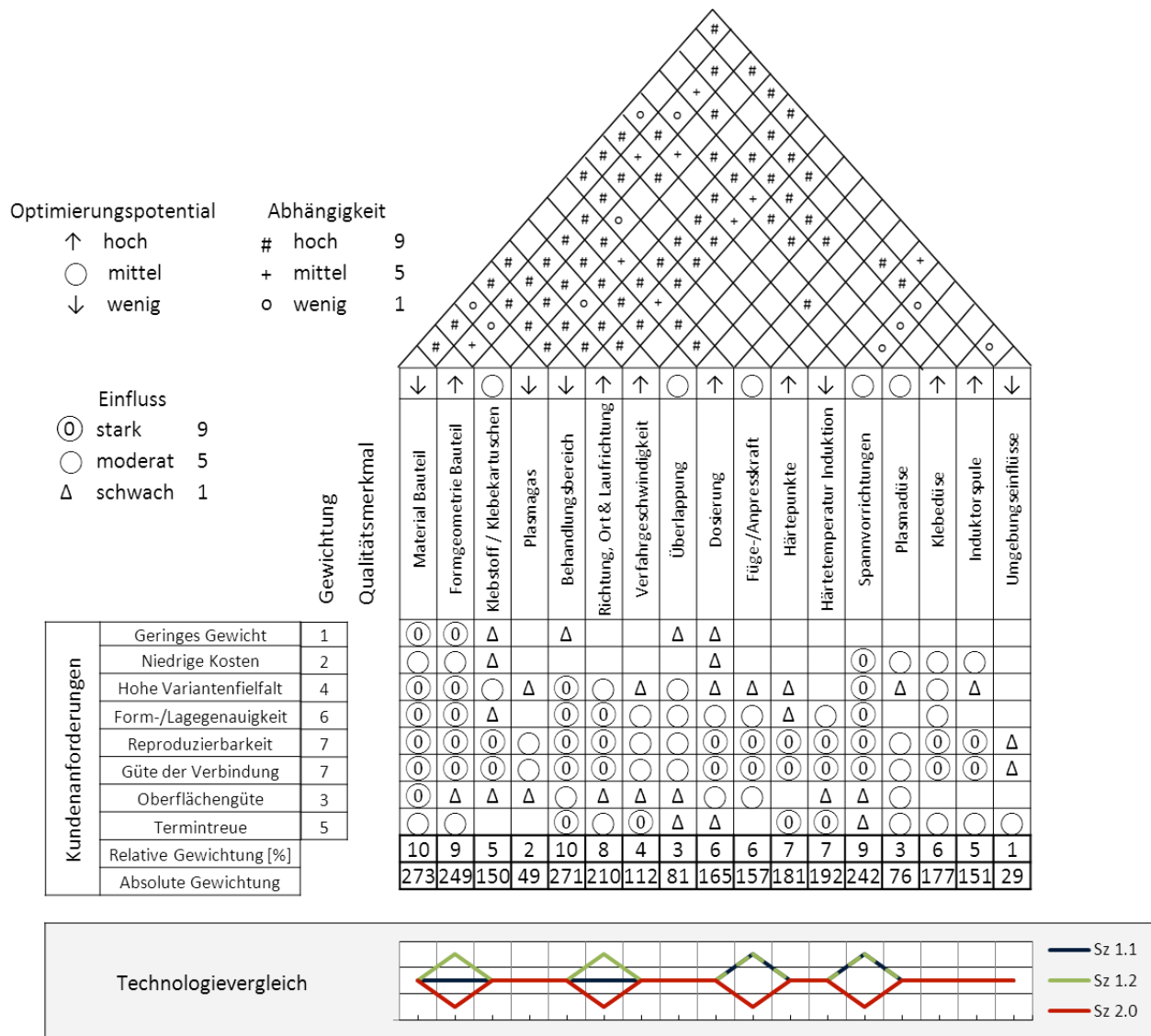


Abbildung 89 – House of Quality und Technologievergleich zum Back-End

Die Gewichtung der Qualitätsmerkmale hat ergeben, dass Material- und Bauteileigenschaften, Behandlungsbereich, Bauteil- und Formgeometrie, die Art der Ausführung der Spannvorrichtungen sowie Richtung, Ort und Laufrichtung mit rund 50% auf die Technologiebewertung Einfluss nehmen. Gewichtungen weiterer Qualitätsmerkmale siehe Abbildung 89.

Zugleich liegen die dem Rang nach am höchsten bewerteten Kundenanforderungen bei der Reproduzierbarkeit und Güte der Verbindung. Daran angeschlossen folgen Forderungen nach guten Form- und Lagegenauigkeiten, Termintreue, die Gewährleistung einer hohen Variantenvielfalt, Oberflächengüte und die Forderungen nach niedrigen Kosten und einem geringen Bauteilgewicht.

Nach der Bewertung der Qualitätsmerkmale wird die Vorteilhaftigkeit einzelner Szenarien im Technologievergleich dargestellt. Im Ergebnis hat Sz 1.2 gefolgt von Variante 1 hinsichtlich der ausgewählten Qualitätsmerkmale die in Summe beste Wertung erhalten. Der Technologievergleich der untersuchten Montageszenarien wird dazu an vier Qualitätsmerkmalen deutlich. Die wesentlichen Differenzierungsmerkmale sind Formgeometrie der Strukturbauteile, Richtung,

Ort und Laufrichtung, Füge- und Anpresskraft sowie die Ausführung der benötigten Spannvorrichtungen. Bei ausnahmslos allen diesen Differenzierungsmerkmalen hat Sz 1.2 am besten abgeschnitten. Dadurch, dass beim Fügen von zwei Frames zugleich die örtliche Fixierung über die Einspannung in der Framestation eine gleichmäßige Referenzebene bildet, sind Abweichungen für Formgeometrie sowie Richtung, Ort und Laufrichtung gegenüber Sz 1.1 etwas besser gewährleistet. Deutlich schlechter ist die Formgeometrie der Frameanbindung mit dem Roboter und Frame-Greifer umzusetzen. Nach einer Einschätzung sind große Ungenauigkeiten beim Positionieren der Frames mit der fliegenden Montage bei Sz 2 zu erwarten, was letztlich zu einer ungleichmäßigen Krafteinleitung beim Fügen und Anpressen der Montageteile führt. Demnach ist es um die fest stationäre Framestation besser bestellt.

10.5 Statische Prozessplanung

Bei der statischen Prozessplanung werden Unterstützungsprozesse und IPP Planungstools zur Erstellung von Arbeitsplänen und zur Ermittlung der Produktivitätsfaktoren angewendet.

Erstellung von Materialfluss- und Fertigungsplänen

Von der Arbeitsvorbereitung werden Materialflusspläne (M-Pläne - Anhang F), Prozessketten (Anhang G), Fertigungspläne (F-Pläne - Anhang G) und Fertigungsanweisungen erstellt. Darin inbegriffen sind Fertigungsprozesse mit den jeweiligen Zeitvorgaben. Für eine strukturierte Konzept- und Szenarioplanung bietet es sich an, die F-Pläne in F&E folgendermaßen zu bezeichnen:

0300	– Arbeitsplan Nummer
Station 2	– Arbeitsstation
Preforms	– Material / Produkt
Automatisiert P&D, P&W	– Fertigungsverfahren / Prozesse

Durch Arbeitsplanung werden sämtliche Zeiten für die Herstellung erfasst. Dazu sind Erfahrungswerte aus der Arbeitsvorbereitung und Zeitplanung heranzuziehen. Auf Basis vorhandener Arbeits- und Fertigungspläne können vereinzelte Prozesszeiten abgeleitet und ermittelt werden. Zudem fließen aus dem PAT Tool generierte Prozesszeitdaten aus F&E in die Materialfluss- und Fertigungsplanung ein. Sofern keinerlei Angaben über die Prozesszeiten vorliegen, werden diese abgeschätzt. Prozessstrukturdaten aus F sind abgestimmte Planwerte, welche sich auf detaillierte Produktdaten, spezifizierte Prozessketten, einen Ressourcenplan (R-Plan) und einen M-Plan beziehen. Aus dem Prototypenbau aufgezeichnete Ist-Zeiten sind mitunter in die Planung aufzunehmen. Im Rahmen dieser Prozessplanung werden die ausgewählten Entwurfs-szenarien auf Basis aufbereiteter PPR-Daten für G und F im Planungstool DELMIA DPE angelegt.

A) DPE - Produkt Archiv

Zur Planung von Produktstrukturen bietet DELMIA DPE ein umfangreiches Produkt Archiv für verschiedene Produktklassen, welche mit Nummern zu versehen sind. Das Produkt Archiv untergliedert folgende Kategorien:

Produkt Archiv, #

- Produkt Varianten, #
 - Gruppe / Untergruppe, #
 - Rohmaterial, #
 - Hilfsstoff, #
 - Kaufteil, #
 - Teil, #

Zur Auswertung der Materialkosten werden die verwendeten Rohmaterialien in einer eigenen Produktvariante für Materialien angelegt. Für die geplanten Strukturbauteile relevante Rohmaterialien können damit auch auf weitere Planungsszenarien und Varianten von G und F verknüpft werden.

B) DPE - Prozessplanung

In dieser Kategorie sind die Planungsgruppen der Planungsszenarien für G und F zum Front- und Back-End anzulegen. Den Planungsgruppen untergeordnet sind Arbeitspläne, Prozesse und Vorgänge. Eine Gliederung wird wie folgt vorgenommen:

Prozessplanung, #

- Planungsszenario/Variante, #
 - Planungsgruppe / Normalarbeitsplan, #
 - Manueller Vorgang, #
 - Maschineller Vorgang, #
 - Montage Vorgang, #
 - Prüfen Manuell, #
 - Prüfen Maschinell, #
 - Transport Vorgang, #

Dem Knoten eines Fertigungsszenarios sind die F-Pläne zuzuweisen. Einem Arbeitsplan unterliegen Prozesse und Vorgänge. Diese werden der Fertigungsfolge entsprechend nummeriert. Über den Plantyp – Gruppe lassen sich Arbeitspläne oder Prozesse auch in einer Ebene zusammenfassen. Zudem ermöglicht DELMIA DPE das Einfügen von Textfeldern in die Graphen der Arbeitspläne und Prozessketten.

Die Arbeitspläne werden in sequenzieller Folge miteinander verbunden und bilden damit die Vatergraphen. Unterhalb der Arbeitspläne sind die Prozessketten und Prozesse zum Materialfluss, der Fertigung, Qualitätskontrolle und sonstige Bedienvorgänge anzulegen.

a) Prozessbeziehungen

Unter Prozessbeziehungen versteht sich die Verknüpfung von Prozessen mit den zugehörigen Produkten und Ressourcen. DELMIA DPE stellt die folgenden Verknüpfungsbedingungen zur Auswahl.

Prozess/Ressourcen-Bedingungen:

- „Prozess läuft auf Ressource“
- „Prozess nutzt Ressource“

Im Rahmen dieser Planung werden ausschließlich Prozess/Ressourcen – Bedingungen vom Typ „Prozess nutzt Ressource“ ausgewählt. Beim Verknüpfen eines Produktes mit einem Prozess ist eine der unten aufgeführten Beziehungen notwendig.

Produkt/Ressourcen –Bedingungen:

- „Produkt wird durch Prozess erzeugt“
- „Produkt wird durch Prozess verarbeitet“

b) Prozesszeiten

Von der Arbeitsplanung werden die ermittelten Prozesszeiten in das Softwaretool von DELMIA DPE eingepflegt und die Durchlaufzeiten berechnet.

Im Reiter Zeitstrukturen können folgende Einstellungen für Zeitangaben ausgewählt werden:

- „geschätzte Zeiten“
- „berechnete Zeiten“

Zeitvorgaben der Prozesse und Vorgänge werden im DELMIA DPE als „geschätzte Zeiten“ hinterlegt. Über die Einstellung „berechnete Zeiten“ werden die Gesamtzeiten der Arbeitspläne und Durchlaufzeiten kalkuliert. Die Prozesszeiten werden auf Ebene der Arbeitspläne hoch-kumuliert.

Anmerkung:

Rüstzeiten, welche beim Aufbau, Umbau oder einmaligen Einrichten von Maschinen und Anlagen anfallen, werden für die geplante Serienproduktion nicht berücksichtigt.

C) DPE - Ressourcen

Der Bereich Ressourcen in DELMIA DPE ermöglicht das Anlegen von Gebäuden und Flächen, einschließlich für den Fabrikbetrieb notwendiger Arbeits- und Betriebsmittel. Dazu bietet DELMIA DPE eine gestufte Einteilung zur Ressourcenplanung und zugehörige Arbeitsplatzgruppen. Aufgeführte Ressourcen sind mit Nummern zu versehen.

Ressourcen, #

- Konzept-/Szenario-/Programmplanung
 - Arbeitsplatzgruppe, #
 - Arbeitsplatzfläche, #
 - Arbeitsstelle, #
 - Bearbeitungsstation, #
 - FEMI, #
 - Montagestation, #
 - Prüf-/Messplatz, #
 - Puffer, #
 - Ressource, #
 - Transport, #
 - Transportmittel, #
 - Umlauf, #
 - Verketteter Transport, #

Für jedes Fertigungskonzept o.a. Szenario wird ein eigener Ressourcenstamm angelegt, über dessen Objekte der M-Plan erstellt wird. Der M-Plan ist in DPE ausschließlich mit 2D Objekten statisch abzubilden. Über Verknüpfung der Ressourcen wird der Materialfluss aufgezeigt.

10.6 Dynamische Prozessplanung

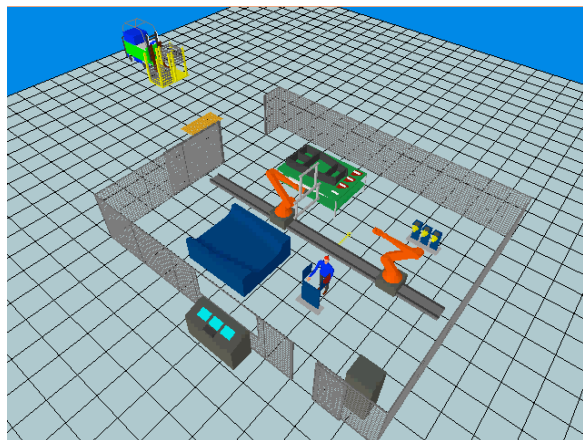
Der dynamische Materialfluss zur Herstellung und Montage von H/C Strukturbauteilen wird über Simulationsmodelle mit der Software DELMIA Quest erforscht. Im Vordergrund der Simulation steht die Visualisierung und Steuerung der Arbeitsabläufe für geplante Szenarien und Varianten aus Kapitel 10.3. Die Untersuchung konzentriert sich auf die Gestaltung des optimalen Produktionsflusses der Entwurfsszenarien zum Front- und Back-End unter vorgegebenen Programmprämisse aus Kapitel 6. Dazu basieren die geplanten Simulationsmodelle auf den PPR Daten zu DELMIA DPE und orientieren sich an den groben Ressourcen- und Layoutplänen der Arbeitsstationen aus Kapitel 11. Ferner ist mit der dynamischen Prozessplanung beabsichtigt, die PPS Steuerungskonzepte aus Kapitel 10.1.4 und 10.2.4 zu implementieren. Ein entwickeltes Quest Grundmodell vereinfacht den Simulationsaufbau. Das Basismodell für Simulationen mit Quest dient dabei zum Anlegen, Steuern, Verwalten, Einlesen und zur Ausgabe von PPR sowie PPS Steuerungsdaten und damit verbundenen Verknüpfungsbeziehungen.

Das Grundmodell verfügt über folgende Basiselemente:

- Produkte
- Produkt-/Prozess Beziehungen
- Prozesse
- Prozesse-/Ressourcen Beziehungen
- Ressourcen
- Senke
- Verbindungen von In- und Output Faktoren
- Transportbeziehungen
- Kapazitäten
- Wegweisende Punkte

Für die Simulation werden grundlegende PPR/PPS Parametersätze angelegt [111] und die dynamischen Modelle der Produktionsszenarien angefertigt. Produkte und Ressourcen werden in grober Struktur mit einem dem Quest eigenen CAD Modul erstellt. Erfahrungsgemäß beeinträchtigen die klassischen Produktdatenformate aus dem Design (z. Bsp. CAT.Part und wrl) die Simulationslauffähigkeit von Quest Simulationen negativ. Die Simulationsmodelle sind neben der Quest Standardlogik mit den Quest angewandten Programmiersprachen Batch Control Language (BCL) und Simulation Control Language (SCL) umzusetzen. Über die Benutzeroberfläche von Quest und die Schnittstelle zum PPR/PPS-Link können Produktionsplaner und Steuerer Änderungen an PPR/PPS Parameterdatensätzen vornehmen und dynamische Produktivitätsfaktoren zur DLZ, Belegung und Ausbringungsmenge über die Planlaufzeit auswerten [112,113]. Im Folgenden sind Sequenzausschnitte des Produktionsablaufs der Front- und Back-End Simulationen dargestellt (siehe Abbildung 90-97).

Variante 1 – Fügen von je einem Frame zum Framework



119

Variante 2 – Fügen von zwei Frames zugleich

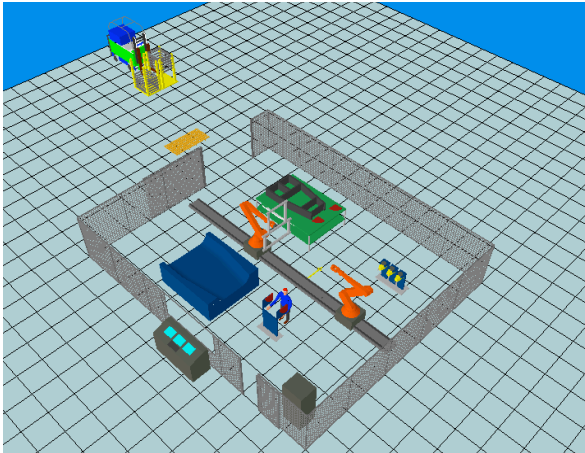


Abbildung 96 – Frames A+C bzw. B+D
manuell Einspannen

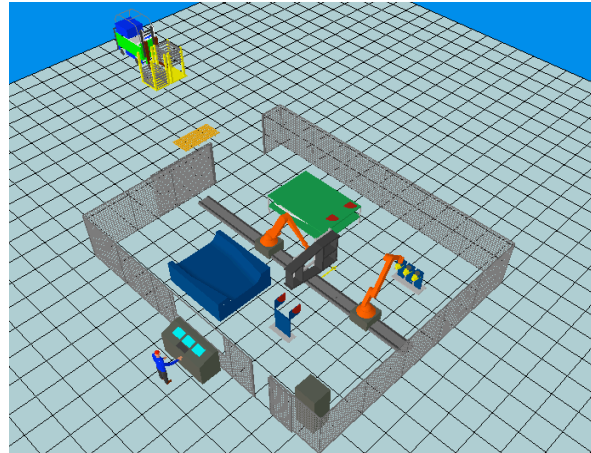


Abbildung 97 – Montage Frames A+C bzw. B+D

Anmerkung:

Die Änderungen von Variante 1 zu 2 umfassen das Einspannen und die Montage von zwei Frames zugleich. Damit werden sechs Werkzeugwechsel eingespart. Ferner entfallen zwei Start- und Stoppbefehle und zwei Zellenläufe für den Werker.

10.7 Produktivitätsanalyse

Programmseitig werden die Zeitbezüge der Entwurfsszenarien von G zu F ausgewertet und weitestgehend der theoretischen IST (I) gegenübergestellt. Zeitbezüge sind sowohl berechnete Zeiten, als auch aus den geplanten Versuchen aufgenommene Zeitwerte.

b) Gesamtzeiten

Verglichen werden die Gesamtzeiten einschließlich der Anteile manueller und maschineller Prozesszeiten der Fertigungsszenarien zum Front- und Back-End. Ergebnisse der Gesamtzeiten sind in den Abbildungen 98 und 99 veranschaulicht.

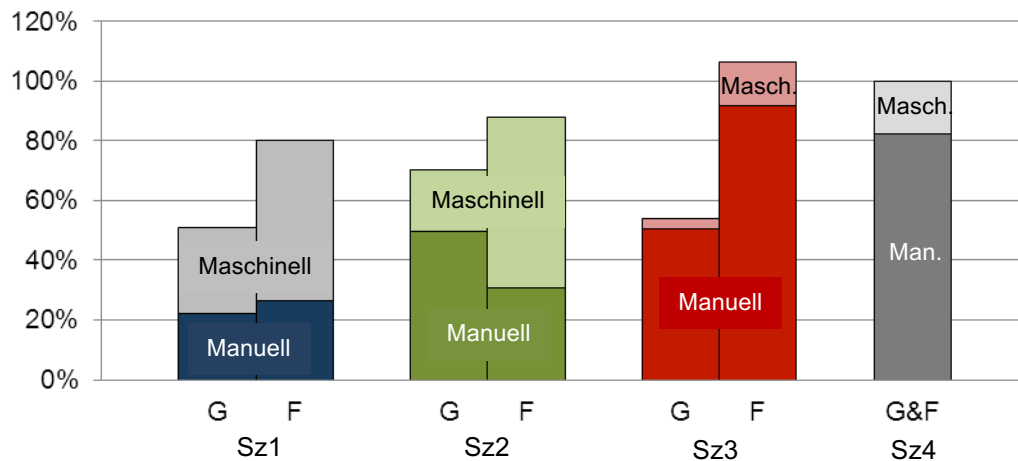


Abbildung 98 – Gegenüberstellung der Gesamtzeiten der Front-End Szenarien

Bei der Auswertung der Gesamtzeiten zum Front-End zeigt sich, dass mit Ausnahme von Sz 4 die berechneten Zeitanteile von F verglichen zu G deutlich höher liegen. Für Sz 4 gelten von G zu F gleichbleibende Zeitplanwerte gemäß dem Stand der Technik. Die Abweichung beträgt bei Sz 1 rund 30% und bei Sz 2 rund 20%. Bei Sz 3 weichen die Gesamtzeiten um den Faktor zwei voneinander ab. Für das (teil-) automatisierte Szenario 1 wird die in Summe niedrigste Gesamtzeit benötigt. Gegenüber Sz 4 liegen die Gesamtzeiten zu Sz 1 F rund 20% und zu Sz 2 F rund 10% tiefer. Unverkennbar haben die modernen (teil-) automatisierten Szenarien 1 und 2 gegenüber 3 und 4 deutlich höhere maschinelle Zeitanteile zu verzeichnen. Bei näherer Betrachtung der aktiven Prozesszeiten (Anhang K) fällt auf, dass die Preformfertigung mit rund 50-75% den größten Anteil an der Gesamtzeit ausmacht. Der zweitgrößte Anteil kommt mit rund 10-23% dem RTM bzw. dem Autoklavprozess zu. Montagearbeiten bei Sz 4 tragen mit zirka 30% zur Gesamtzeit bei. Für weitere Fertigungsprozesse des Zuschneidens, der Nacharbeit und Materialflussprozesse liegen die jeweiligen Anteile am Gesamtprozess bei unter 5%.

Anmerkung:

Die Abweichungen der Prozesszeiten von G zu F sind im Folgenden begründet.

Förderzeit: Die Abweichungen der Förderzeit liegen bei 21% für MAT 5 und 33% für MAT 3. Der Anstieg der Förderzeit ist über den zunehmenden Mehrbedarf des zu fördernden Materialverschnittes zustande gekommen. Während in G von 10% Verschnitt ausgegangen wird, liegt der Materialverschnitt in F bei rund 40%.

Zeit zum Kennzeichnen (t_k): Deren Abweichung wird ausschließlich durch Änderungen der Lagenzahl wirksam.

Zeit zum Zuschneiden (t_z): Die Zeiten beim Zuschneiden weichen um einen Faktor von 16 für MAT 5 bis um einen Faktor von 17 für MAT 1 von F zu G ab. Während in G noch von einer max. Vorschubgeschwindigkeit V_f von 0,8m/s des Cutters ausgegangen wird, liegt für behinderte Preformlagen V_f in F bei zirka 45mm/s. Erfahrungsgemäß nimmt das Zuschneiden von trocken behinderten Faserlagen deutlich mehr Zeit in Anspruch als das Zuschneiden von Prepreglagen.

Zeit zum Grob-Zuschneiden (t_{GZ}): Beim Grob-Zuschnitt von Kernwerkstoffen liegen die Zeitabweichungen bei einem Prozent. Diese Änderungen sind auf die detaillierten Abmessungen des Designs zurückzuführen.

Zeit zum Fräsen (t_f): Die Abweichungen der Fräszeiten für Wabenkerne sind ebenfalls auf die Änderungen im Design zurückzuführen und liegen bei $\pm 1\%$.

Pick & Drape Prozesszeit (t_{pd}): Die Abweichungen zum automatisierten Pick & Drape von F zu G liegen für Frames und Longerons bei einem Faktor von rund 1,5 und für die Verbindungselemente bei einem Faktor von etwa 1,17. Die maximale Abweichung von F zu G liegt für den Longeron LH bei 70%.

Pick & Weld Prozesszeit (t_{pw}): Annahmen hierzu sind für G und F zugleich bestimmt.

Single Diaphragma Prozesszeit (t_{SD}): SD-Faktoren in G sind zeitbezogene Planwerte aus dem PAT Tool. SD-Faktoren in F sind aus Messungen abgeleitete Planwerte. Der SD-Faktor zur Maschinenzeit beträgt in F rund das 3fache zu dem in G. Der SD-Faktor zur Personalzeit reduziert sich um 85%. Aufgrund der geringen Anzahl an Versuchen sind die SD-Faktoren allerdings mit Vorsicht zu betrachten. Dazu sei angemerkt, dass bei den Versuchen die Temperatur nur durch die Heizmatten von oben auf die Preforms einwirkte. Würde die Erwärmung zusätzlich über den Heiztisch o.a. in einem Ofen erfolgen, ließe sich der Heizzyklus deutlich verkürzen. Weitere Zeitabweichungen beim SD sind mit Änderungen der Dimensionen zum Detail Design begründet.

Prozesszeiten zum manuellen Drapieren & Heißbügeln (t_{md}): Dieser Zeitanteil ist um den Faktor von rund 2,3 für Frames und Longerons und um 1,3 für Verbindungselemente angestiegen. Die Drapierzeit wird über den Drapierfaktor von 50min/m² berechnet. Während der Zeitbedarf zum Heißbügeln in G abgeschätzt wird, sind in F die Messwerte aus der Studie von Markus Becker maßgebend. Um den Zeitbedarf beim Heißbügeln zu reduzieren, sollte für großflächige Bauteile ein größeres Heißbügeleisen verwendet werden.

Prozesszeit RTM: Die Abweichungen der Maschinenzeit von G zu F belaufen sich auf rund das Fünffache. Bei G entspricht der Heizzyklus dem des PAX Spant aus der A350 Türenfertigung. In F entspricht die RTM-Prozesszeit zur Herstellung des INSTRUKT Frameworks den gemessenen Zeiten. Der in F deutlich höhere Zeitbedarf beim RTM-Zyklus ist damit begründet, dass es sich beim Tooling zum

Framework nicht wie beim PAX Spant um ein ölbeheiztes RTM-Formwerkzeug handelt, welches eine bessere Wärmeleitfähigkeit garantiert.

Sonstige Materialflussprozesse: Mit Ausnahme des Werkzeugwechsels (WW) sind von G zu F keine Änderungen angefallen. In G abgeschätzte Zeitwerte zum WW der Effektoren sind in F durch Messung verifizierte Zeitwerte.

Es folgt die Auswertung der Gesamtzeiten zum Back-End (siehe Abbildung 99).

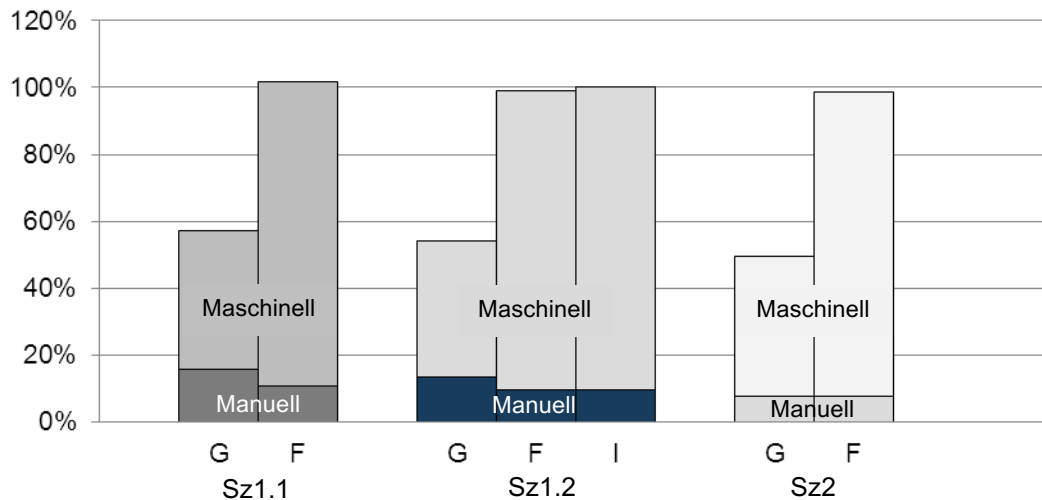


Abbildung 99 – Gegenüberstellung der Gesamtzeiten der Back-End Szenarien

Die Abbildung 99 verdeutlicht, dass von F zu G die Gesamtzeiten zur Montage von H/C Bodengruppen um rund 50% abweichen. Die Abweichung von F zum theoretischen Ist der Prototypenfertigung zu Sz 1.2 beläuft sich auf gerade mal 1%. Ferner ist festzustellen, dass die Anteile maschineller Arbeitszeiten gegenüber den manuellen Arbeitszeiten bei allen Szenarien in G, F und I deutlich überwiegen.

Verglichen zu Sz 1.2 I beansprucht Sz 2 F den geringsten Zeitbedarf zur Montage von H/C Bodengruppen. Etwa 3% mehr Zeitbedarf erfordert Sz 1.1. Auffallend ist, dass die Montageszenarien mit einem geringeren manuellen Arbeitsanteil weniger Zeitaufwand benötigen. Der niedrige Zeitaufwand von Sz 2 ist vorwiegend damit begründet, dass die Handhabung von Frames und Framework mit Roboter und Frame-Greifer in schnellen Schritten durchzuführen sind, während in Sz 1 die Handhabung und das Positionieren von Frames manuell erfolgt. Für jeden manuellen Positioniervorgang von Montageteilen, Ein- und Abschalten der Anlage sowie Betreten der Zelle fallen Arbeitszeiten an. Zudem wird deutlich, dass die Folge der Füge-schritte und die Oberflächenvorbehandlung ebenfalls einen Einfluss auf die Dauer des Montageablaufs nehmen. In Sz 2 wird zwar jeder Frame einzeln gefügt, die Oberflächenvorbehandlung erfolgt allerdings für alle Frames im Rahmen eines geschlossenen Arbeitsvorgangs vor dem Fügen. Bei Realisierung von Sz 2 können durch eine geschlossene Oberflächenvorbehandlung und das Fügen der Frames mit dem Roboter rund 3% an Prozesszeit eingespart werden.

Unter näherer Betrachtung der Prozesszeiten in F (siehe Anhang K) liegt der überwiegende Prozesszeitanteil mit 73% beim Induktionshärten. Daraufaufgehend werden rund 10-12% der Gesamtzeit zum Plasmaaktivieren benötigt. Für das Kleben und Fügen beläuft sich der Anteil auf rund 5%. Sonstige Materialflussprozesse werden mit 9-13% beansprucht.

Anmerkung:

Im Folgenden werden die Abweichungen der Prozesszeiten begründet.

Zeit zum Plasmaaktivieren (t_{pa}): Abweichungen beim Plasmaaktivieren der Montageteile sind auf Änderungen der Produktdaten vom groben zum detaillierten Design zurückzuführen. Die Zeitabweichung zu t_{pa} liegt von Plan zu Ist bei zirka 10%. Während in F noch von 7 Bahnzyklen (n) und einem V_f von 4,8m/min auszugehen ist, wird im Versuch n mit 4 und V_{fp} von 3,5m/min gewählt.

Zeit zum Kleben (t_k): Durch Änderung der Verfahrensgeschwindigkeit beim Klebstoffauftrag (V_{fk}) in G von 4,8m/min zu F auf 1,5m/min steigt die Prozesszeit zum Kleben um einen Faktor von 3,2. Die Abweichung von F zu I beträgt für Sz 1.2 rund 20% und ist mit der länger als geplanten Positionierzeit begründet.

Zeit zum Fügen (t_f): Änderungen beim Fügen durch Anpressen haben sich von Plan zu Ist durch das im Prototypenbau lang andauernde Positionieren ergeben.

Zeit zum Spot Curing (t_{sc}): Beim induktiven Härten der Fügestellen liegt die Abweichung von G zu F bei einem Faktor von 2,8. Gegenüber der Berechnung zu G ist in F eine Haltezeit zum Induktionshärten inbegriffen. Die tatsächliche Härtezeit eines Härtpunktes ist gemessen zu F gleich geblieben.

Zeitbedarf sonstiger Materialflussprozesse: Das Lösen von Framework und/oder Bodengruppe erfolgt in G manuell und in F automatisiert, wodurch einige Minuten eingespart werden können. Plan-Ist Abweichungen zum Werkzeugwechsel, Rotieren, Lösen und Bewegen des Frameworks belaufen sich zum Teil auf Faktoren im zweistelligen Bereich. Der Unterschied liegt jedoch absolut gesehen bei nur wenigen Minuten. Gemessene Positionierzeiten sind aufgrund langsamer Verfahrenweisen im Testbetrieb mit reduzierter Geschwindigkeit verglichen zu F relativ hoch ausgefallen.

c) Automatisierungsgrad

Mit 67% beziffert Sz 1 im Front-End zu F den höchsten Ag. Der maschinelle Arbeitsanteil bei Sz 1 überwiegt deutlich gegenüber dem manuellen Anteil. Zum Vergleich liegen der Ag von Sz 2 F bei 65% und der von Sz 3 und 4 F bei 14% und 18%.

Der Ag der untersuchten Szenarien zum Back-End liegt in einer Höhe von zwischen 89% für Sz 1.1 und 92% für Sz 2. Die unterschiedlichen Varianten bei der Oberflächenvorbehandlung und beim Fügen der Frames zum Framework haben auf den Ag nur wenig Einfluss genommen.

Anmerkung:

Die geplanten Fertigungsszenarien Sz 3 und Sz 4 F zum Front-End können den angestrebten Ag von 35% nicht erfüllen.

d) Durchlaufzeiten

Die Durchlaufzeit (DLZ) zur Fertigung eines Frameworks und Herstellung einer H/C Bodengruppe beinhaltet die Zeitanteile der Prozesse auf dem kritischen Pfad der Prozessketten zum Front- und Back-End. Diese kann von der statischen zur dynamischen Prozessplanung und über die Planlaufzeit variieren. In den Abbildungen 100 und 101 sind die DLZ aus der statischen Prozessplanung der Front- und Back-End Szenarien dargelegt.

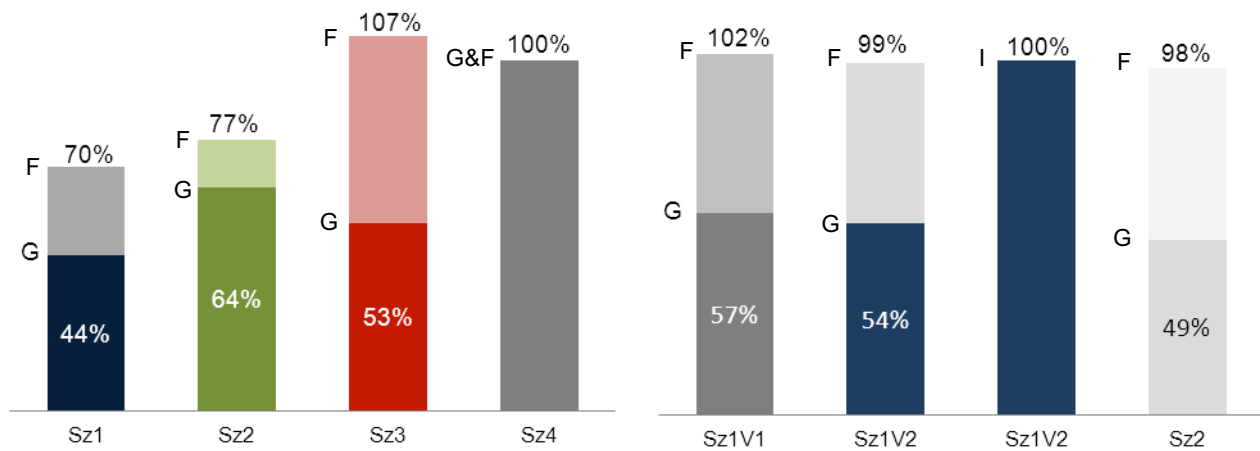


Abbildung 100 – DLZ der Front-End Szenarien

Abbildung 101 – DLZ der Back-End Szenarien

Die Abweichungen berechneter DLZ im Front-End belaufen sich von F zu G auf zwischen 13% für Sz 2 bis 54% für Sz 3. Für Sz 4 ergeben sich in G und F gleichbleibende DLZ. Im Back-End liegen die Abweichungen der DLZ von G zu F bei einem Faktor von zirka zwei. Die DLZ sind bei Sz 1.2 von F zu I kaum verändert.

Beim Front-End haben hinsichtlich der DLZ die Szenarien 1 und 2 am besten abgeschnitten. Allen voran bewährt sich Sz 1 gegenüber den anderen Szenarien. Verglichen zu Sz 4 F fallen die DLZ bei Sz 1 F rund 30% und jene von Sz 2 F rund 23% tiefer aus. Sz 3 lässt gemessen an F zu Sz 4 eine um 7% höhere DLZ erwarten. Nach den DLZ der Front-End Szenarien zu urteilen, ließe sich mit Sz 1 der höchste Produktionsausstoß erzielen.

Die DLZ der Szenarien in F zum Back-End weichen nur wenige Prozent voneinander ab. Verglichen zur DLZ von Sz 1.2 I liegen die DLZ von Variante 1 rund 2% darüber und die von Sz2 knapp 2% darunter.

e) Belegungen

Auf Basis der Programmanforderungen werden die Belegungen der Ressourcen prozentual für sämtliche Fertigungsszenarien zum Front- und Back-End ermittelt. Als Berechnungsgrundlage dienen Prozesszeiten und Ressourcen aus G und F sowie Modellparameter für Verfügbarkeiten, für die Anzahl der Schichten und die Hochlauf- und Lernkurve. Es werden die Ressourcen der Szenarien mit der im Zeitraum des Serienbetriebs höchsten Belegung analysiert (siehe Abbildungen 102 und 103).

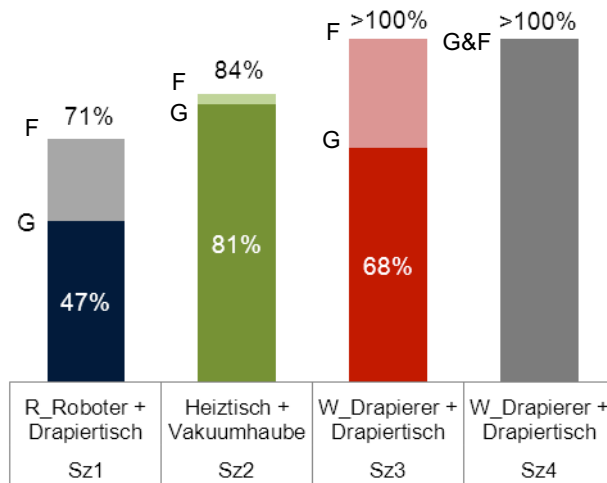


Abbildung 102 – Belegungen kritisch beanspruchter Ressourcen der Front-End Szenarien

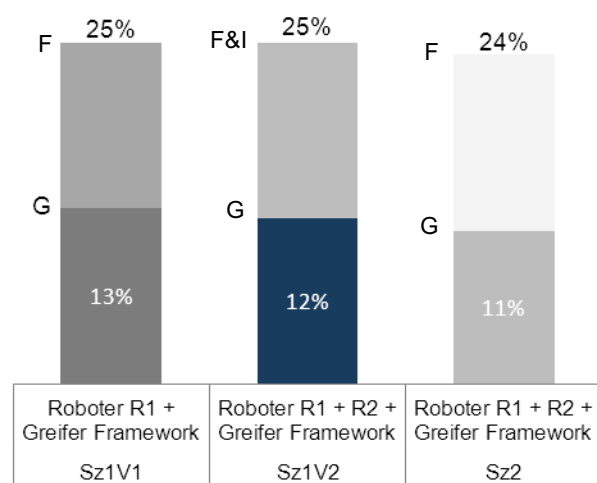


Abbildung 103 – Belegungen kritisch beanspruchter Ressourcen der Back-End Szenarien

Tendenziell fallen die Belegzeiten der am meisten beanspruchten Ressourcen in G zu F geringer aus. Die größte Änderung im Front-End kommt bei Sz 1 und 3 zur Geltung. Im Back-End liegen die Abweichungen von F zu G bei zwischen 12% und 13%.

Während im Front-End zu Sz 1 G die am meisten genutzten Ressourcen des Roboters und Drapiertischs zu 47% in Anspruch genommen werden, liegt der Anteil in F bei 71%. In Sz 3 werden Werker und Drapiertisch in G mit 68% und in F mit weit über 100% beansprucht. Drapierer und Drapiertisch der Szenarien 3 und 4 sind im geplanten Zweischichtbetrieb vollkommen ausgeschöpft. Sz 1 und 2 hingegen liegen unterhalb der Belastungsgrenze im unkritischen Bereich. Dies ist vor allem damit begründet, dass bei diesen Szenarien die Fertigung der Verbindungselemente parallel zur Herstellung der Frames und Longerons erfolgt. Durch parallel betriebene Fertigungsstationen zum manuellen Drapieren und Heißbügeln sind die überwiegend beanspruchten Ressourcen wie Roboter und Drapiertisch (Sz 1) sowie Heiztisch und Vakuumhaube (Sz 2) auf dem kritischen Pfad entlastet.

Für die nach der Prozessplanung zum Back-End am meisten genutzten Ressourcen der Roboter und des Greifer-Frameworks liegt die Belegung in Sz 1 bei 25% und die in Sz 2 bei 24%. Bei derart niedriger Belegung steht die Roboterzelle auch für anderweitige Programme zur Verfügung. Detaillierte Belegungen weiterer Ressourcen der Fertigungsszenarien sind im Anhang L aufgeführt.

Anmerkung:

Bei den Szenarien 1, 2 und 3 ist nur eine Einlegestation unmittelbar vor der RTM-Pressen vorgesehen, was die Belegung und Stillstandzeiten der Presse deutlich erhöht. Würde eine zweite Einlegestation berücksichtigt, so ließen sich die Belegzeiten der Presse und die damit verbundenen Investitionen reduzieren. Bei einer Belegung von über 90% sind Maßnahmen zu ergreifen, um entweder weitere Stationen einzuplanen und parallele Arbeiten zu gewährleisten oder aber die Anzahl der Schichten zu erhöhen.

Belegungen der Speicher werden dynamisch mit Hilfe der erstellten Simulationsmodelle aus DELMIA Quest ausgewertet. Ergebnisse hierzu liegen für G und F dem Anhang L8 zu Grunde (vgl. [112,113]).

f) Ausbringungsmenge

Über Simulationsläufe der dynamischen Materialflussmodelle in QUEST lassen sich die maximalen Ausbringungsmengen der untersuchten Produktionsalternativen in Erfahrung bringen. Mit den Quest Standardfunktionen werden die PPS Modellparameter ausgelesen. Die Auswertung der Ausbringungsmenge wird für einen Planungszeitraum von 230 Arbeitstagen pro Jahr bei einer Schicht von sieben Arbeitsstunden pro Arbeitstag (AT) festgelegt. Der Einfluss der Lernkurve ist zu vernachlässigen. Ergebnisse der Ausbringungsmenge zum Front- und Back-End sind in den Tabellen 10 und 11 dargelegt, vgl. [112,113].

	Planung	Sz 1.1	Sz 1.2
PE Max.	G	326	352
	F	165	170

Tabelle 10 – Maximale Ausbringungsmengen (PE) p.a. zum Back-End

	Planung	Sz 1	Sz 2	Sz 3	Sz 4
PE Max.	G	88	51	66	42
	F	58	49	30	

Tabelle 11 – Maximale Ausbringungsmenge (PE) p.a. zum Front-End

10.8 Ergonomieuntersuchung

Die Untersuchung ergonomischer Prinzipien (siehe Kapitel 8.5) erfolgt mit unetrstützten Planungsmodellen und dem CAD.

Ergonomieanalyse zum Front-End

Im Fokus der Ergonomieuntersuchung zum Front-End steht die vollautomatische Handhabung von Faserlagen mit Roboter und Effektoren. Das Simulationsmodell zur Ergonomieuntersuchung hat die Firma Grenzebach im Projekt INSTRUKT bereitgestellt. Die Aufnahme und Ablage von Faserlagen zur Verarbeitung von Preforms der Frames und Longerons verlaufen reibungsfrei (siehe Abbildungen 104 und 105).

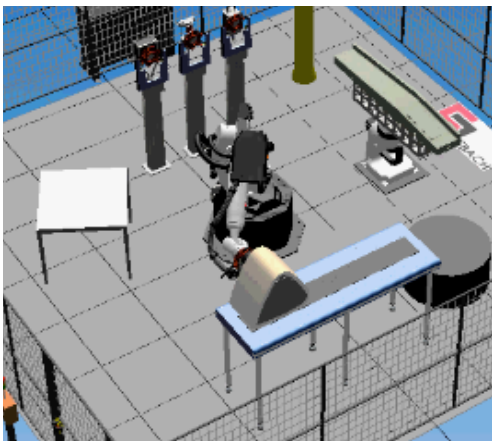


Abbildung 104 – Robotergestützte Aufnahme einer Lage mittels PDA Funktionskopf (nach [33, 34])

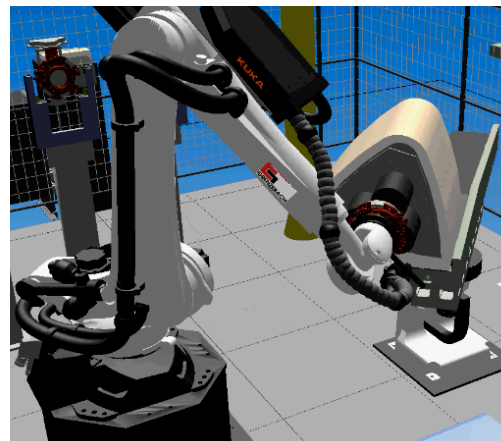


Abbildung 105 – Ablegen einer Lage mit Roboter und PDA Effektor (nach [33, 34])

Mit dem Simulationsmodell zum Pick & Drape ist ersichtlich, dass der PDA Drapierkopf alle Flächen zur Ablage des in der Form komplexen Z-Profiles des Longerons LH in allen Richtungen ungestört erreichen kann. Fertigungsversuche haben jedoch gezeigt, dass der PDA Funktionskopf zur Auf- und Ablage von kleineren Lagen wie die der Verbindungselemente nicht geeignet ist. Für alle weiteren Szenarien sind nach Informationen der Werker bei den Preformversuchen keine Störfaktoren aufgetreten. Deutlich schwieriger gestaltet sich die Handhabung beim Einlegen der Aluminiumkerne und Aufsetzen des Oberkastens des RTM-Werkzeugs. Zum Heben der schweren Lasten wird ein Kran mit Kettentrieben benötigt. In der Prototypenfertigung des Frameworks führen Transporthilfskräfte und Werker den Kran und positionieren die Kerne unter zulässigen Belastungen nach den Vorschriften der Arbeitssicherheit. Benutzerfreundliche Anlagen mit Bedienpult gewährleisten dabei eine umgängliche Prozess- und Zellensteuerung. Für die Robotersteuerung eignet sich ein flexibel tragbares Handprogrammiergerät. Mit diesem kann der Werker die Programmierung und die Steuerung des Roboters ungehindert ausführen. Was die Erfüllung der Aufgaben für Wartung- und Instandhaltung anbelangt, so ist davon auszugehen, dass sich mit steigender Anzahl an Funktionselementen die Aufwendungen erschweren.

Ergonomieanalyse zum Back-End

Aus der dynamischen Prozessplanung mit QUEST geht hervor, dass genug Freiraum der Werker zum Handhaben, Speichern und Einspannen der Montageteile in der geplanten Montagezelle zur Verfügung steht. Der Bewegungsraum der Roboter reicht aus, die Effektoren aus dem Werkzeugspeicher aufzunehmen und die Positionen zur Bearbeitung anzusteuern. Über die Simulation ist sichergestellt, dass die zu behandelnden Oberflächen der Montageteile roboter-gestützt mit dem ADP Plasmakopf und der Klebedüse gut erreicht werden können. Durch den zusätzlichen Freiheitsgrad einer linearen Achse treten während der Montagesimulation keine Hindernisse auf. Die stationären Montagevorrichtungen für Frames und Bodengruppe können mit dem Roboter gleichermaßen gut erreicht werden. Jedoch herrscht Ungewissheit darüber, ob alle der 25 Härtepunkte mit dem IEK angesteuert werden können. Die kritischste Stelle zum induktiven Härten liegt zwischen den Frames und der Framestation aus Sz 1. Sollte das Induktionshärten innerhalb der Framestation bei einem zulässigen Abstand der Frames von 500 mm gelingen, würden alle weiteren Punkte innerhalb der Bodengruppe kein signifikantes Risiko darstellen. Zum Vergleich liegt der tatsächliche Abstand der Frames innerhalb der Framestation bei rund 700 mm. Eine detaillierte Analyse von Experten des DLR-ZLP in Augsburg hat ergeben, dass es beim induktiven Härten mit Roboter und IEK unter einem Zustellwinkel der Induktor-spule von 30° und zul. Frameabstand zu keinerlei Kollisionen kommt [114].

Anmerkung:

Um alle Aushärtepunkte anfahren zu können, muss die Induktorspule des IEK verstellt werden. Eine Drehvorrichtung am vorderen Segment des IEK ist unter diesen Umständen unabdingbar.

Sämtliche Induktionshärtepunkte können mit dem Roboter 1 und dem IEK erfolgreich angesteuert werden, sofern sich Roboter 2 vom Framework-Greifer gelöst hat. Abbildung 106 zeigt exemplarisch das automatisierte Fügen und Induktionshärten der Bodengruppe.

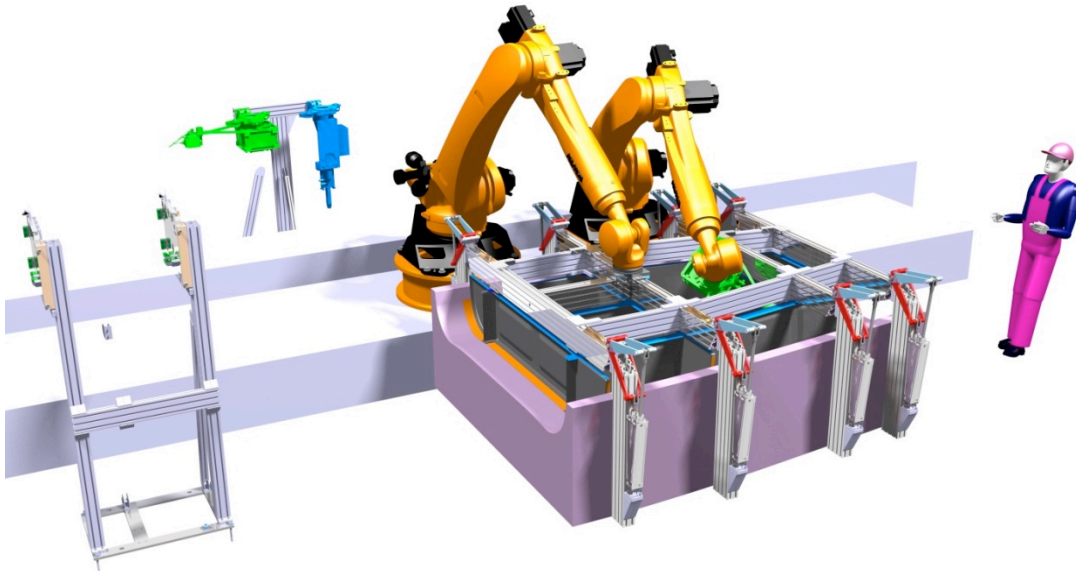


Abbildung 106 – Fügen und Induktionshärten des montierten Frameworks mit der Bodenschale [64]

In der Roboterzelle des LMP kann der Werker nachweislich alle Befehle über das Bedienpult von außerhalb der Zelle ohne Einschränkungen einleiten. Was die Wartung und Instandhaltung anbelangt, so sind von Sz 2 zu Sz 1 aufgrund des Framegreifers höhere Aufwendungen zu erwarten.

11 Fabrikplanung

Das Ziel der Fabrikplanung ist die Auslegung der Produktionsstätte, der Produktionssysteme einschließlich der Steuerung der zur Produktion erforderlichen Produktions- und Fördermittel.

Die wesentlichen Strukturdaten der Fabrikplanung sind:

- Produktionsort
- Fabriklayout (inkl. Anzahl, Art und Lage der Produktions- und Fördermittel, Produktionsfläche und Stationen)
- Ressourcen (Anzahl, Art und Menge der Ressourcen an Personal, Hilfsmitteln, Hilfsstoffen, Betriebsmitteln etc.)
- Materialflussbeziehungen

Bei der Fabrikplanung wird unterschieden zwischen Grob- und Feinplanung.

Grobplanung

Für jedes Fertigungsszenario sind Ressourcenplan und Fabriklayout zu entwickeln, innerhalb denen Arbeitsstationen und Ressourcen zunächst grob zugeordnet sind. Im Stationsplan wird die Anordnung der Maschinen und Anlagen festgelegt. Für die grobe Darstellung eignet sich eine übersichtliche Zeichnung in der Draufsicht. Im R-Plan zu G sind die benötigten Arbeitskräfte und Produktionsmittel mit vollständiger Bezeichnung den Arbeitsstationen zuzuweisen.

Feinplanung

Auf Basis der groben Fabrikplanung werden die Objekte der Fabrikstruktur im Detail spezifiziert. Die Fabrikstruktur ist mit den geplanten Maßen aus Konstruktion und Design über die DMU- und Werksplanung in Form technischer Zeichnungen und digitaler Modelle abzubilden. Dazu umfasst die Feinplanung eine Einteilung der Ressourcen in definierte Objekte.

11.1 Fabriklayout- und Stationsplanung

Über die Fabriklayout- und Stationsplanung sind die Fabrikstruktur und die zugehörigen Arbeitsstationen der Produktionsszenarien zunächst im Groben und darauffolgend im Detail darzustellen. Mit dem Fabriklayout und den zugehörigen Stationsplänen wird die räumliche Anordnung der erforderlichen Fertigungseinrichtungen dargelegt. Das Fabriklayout enthält die zur Fertigung notwendigen Arbeitsstationen inklusive Werker und Betriebsmittel. Ferner kann das Fabriklayout Wegepunkte für Personen und Transportmittel o.a. anderweitige Markierungen und Positionen beinhalten. Die Ressourcen werden mit vollständiger Bezeichnung im R-Plan hinterlegt.

Anmerkung:

Bei der Layoutplanung ist der Raum der Stationsfläche für die Ressourcen auf ein Optimum zu begrenzen.

11.1.1 Grobe Layoutpläne

Die Fabriklayout- und Stationspläne der Fertigungsszenarien sind zunächst in 2D Draufsicht erstellt. Im groben Stationsplan findet die Zuordnung der benötigten Anlagen und Betriebsmittel statt. In den Abbildungen 107-109 sind die Stationspläne der modernen Roboterzelle von Sz 2 zum Front-End und der Montageszenarien zum Back-End veranschaulicht. Ausführliche Dar-

stellungen weiterer Arbeitsstationen der Fertigungsszenarien aus G sind im Anhang M1 aufgeführt.

Anmerkung:

In einer Übersicht sind gleichartige Stationen der Szenarien einmalig abgebildet. Abweichungen ergeben sich für Front-End Szenarien bei den Layoutplänen von St 2 zu St 2a und St 2b. Innerhalb der Arbeitsstationen sind vereinzelte Posen für Roboter gekennzeichnet.

Front-End Szenario 1

Stationsplan: St 2 – Automatisiert Drapieren

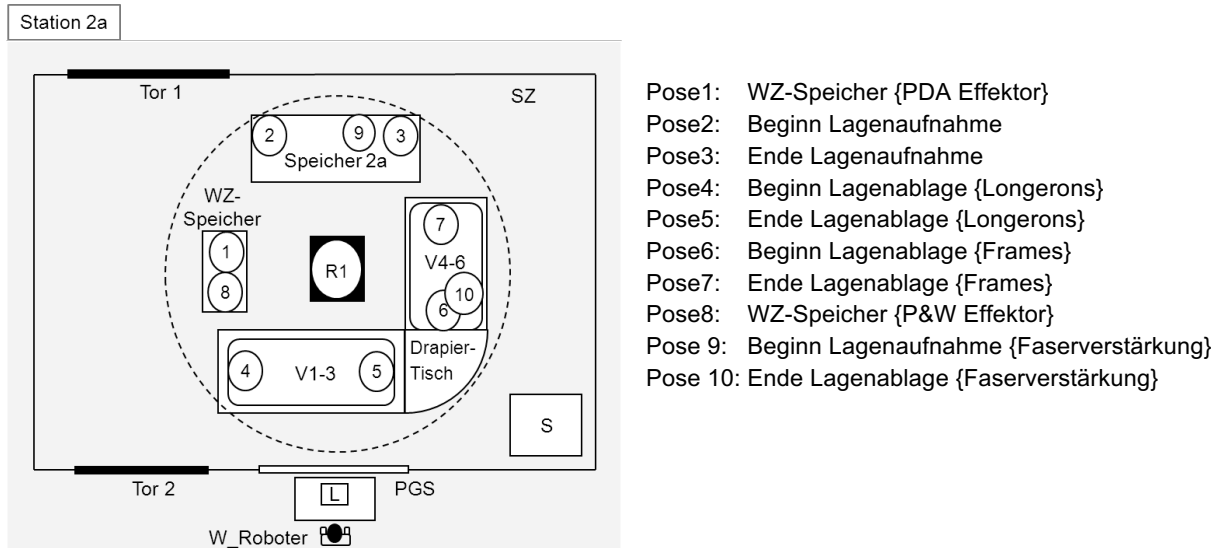


Abbildung 107 - Grober Layoutplan zum FET-Szenario 1, Station 2a

Back-End Szenario 1

Stationsplan: Erzeugnislager – Einlagerung / Entnahme

St 1 – Montage H/C Bodengruppe

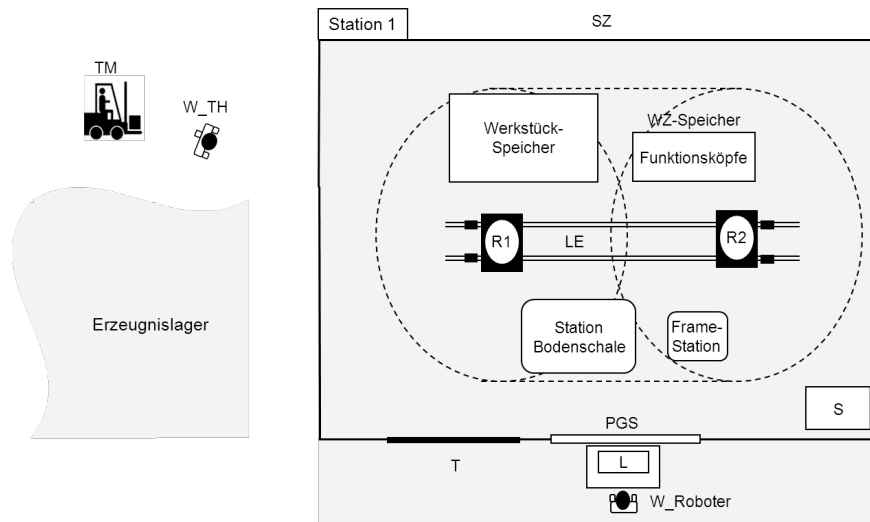


Abbildung 108 – Grober Layoutplan zum Montageszenario 1, St 1

Back-End Szenario 2

Stationsplan: Erzeugnislager – Einlagerung / Entnahme

St 1 – Montage H/C Bodengruppe

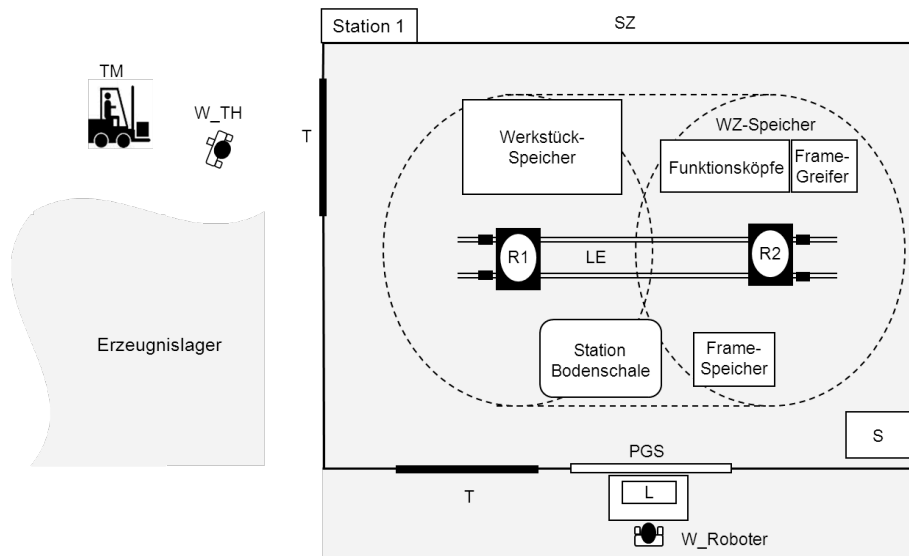


Abbildung 109 – Grober Layoutplan zum Montageszenario 2, St 1

11.1.2 Detaillierte Layoutpläne

Den Layoutplänen aus F liegen Ressourcen und Arbeitsstationen maßstäblich zu Grunde. Deren Entwicklung erfolgt über die DMU Planung mit dem CAD. Für die Darstellung der Stationspläne sind geeignete Blickwinkel in der 3D Zeichnung und der Draufsicht bestimmt. Die Abbildungen 110-113 zeigen die modernen Roboterzellen zum Front-End Szenario 2 in St 2 und der Montageszenarien in St 1. Alle übrigen Stationen und Szenarien sind im Anhang M2 aufgeführt.

Anmerkung:

Die Ressourcen und Stationspläne sind weitestgehend an die realen Dimensionen und die aktuelle Situation bei Airbus Helicopters in Donauwörth angelehnt.

Szenario 1

Stationsplan: St 2a – Automatisiert Drapieren

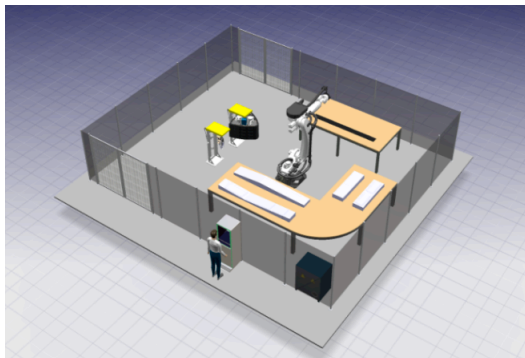


Abbildung 110 – Station 2a in 3D Darstellung;
Simulation des Drapierkopfes nach [33, 34]

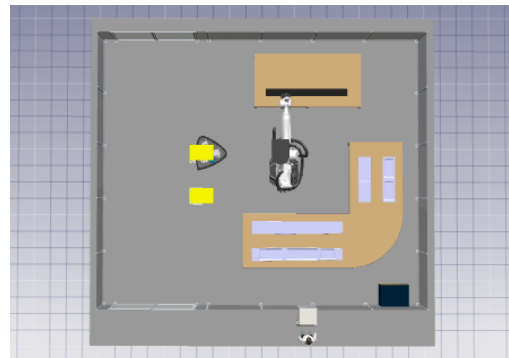


Abbildung 111 – Station 2a in der Draufsicht;
Simulation des Drapierkopfes nach [33, 34]

Back-End Szenario 1

Stationsplan: St 1 – Montage H/C Bodengruppe

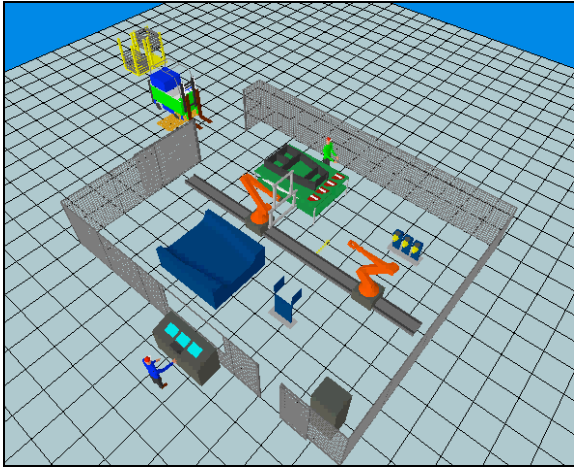


Abbildung 112 – Station 1 in 3D-Darstellung

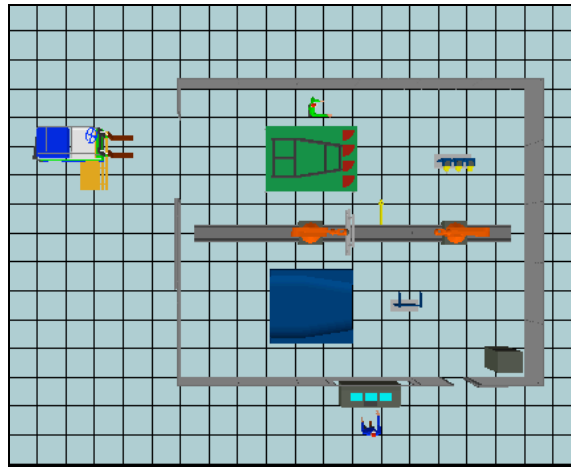


Abbildung 113 – Station 1 in der Draufsicht

Anmerkung:

Der detaillierte Stationsplan zu Montageszenario 1 ist dem Planungsmodell aus DELMIA QUEST entnommen. Ein Feld im Raster der Gitternetzlinien aus dem Layoutplan entspricht einem Quadratmeter. Auf ein detailliertes Fabriklayout zu Montageszenario 2 ist verzichtet worden, da die geringfügigen Abweichungen zu Sz 1 bereits im groben Layoutplan erkenntlich sind.

11.2 Ressourcenplanung

Über die Ressourcenplanung sind die benötigten Ressourcen nach Ihrer Art und vom Typ voneinander abzugrenzen. Geplant werden die Ressourcen für ausgewählte Szenarien. Der Planungsverlauf basiert auf einem Zwei-Phasenmodell der Grob- und Feinplanung.

Grobplanung

Bei G werden die benötigten Ressourcen der geplanten Produktionsstätte mit kurzer Bezeichnung in einem Ressourcenplan erfasst (Anhang N) und einer der folgenden Kategorien zugeordnet: Arbeitsstelle, Transportmittel, Ressource, FEMI, Puffer, Bearbeitungs- bzw. Montagestation. Den R-Plänen beigelegt sind Verknüpfungen zu sog. Transportfunktionen. Ferner sind die Ressourcen zugehörigen Arbeitsstationen mit fortlaufenden Nummern zu versehen.

Anmerkung:

Personal und Betriebsmittel, welche nicht unmittelbar einer Station zugewiesen werden können, fallen in die Kategorie der stationsunabhängigen Ressourcen.

Feinplanung

In F werden alle erforderlichen Ressourcen den definierten Objekten (1-19) zugewiesen und die technischen Merkmale erläutert.

1 Hilfsmittel

Zur Herstellung und Montage von Strukturbauteilen werden im Wesentlichen Arbeitssysteme und Vorrichtungen benötigt. Zudem sind Schutzausrüstungen gemäß dem Arbeitsschutzrecht und der Arbeitssicherheit festzulegen. Auf das Anlegen und den Gebrauch von persönlicher Schutzausrüstung ist in den Fertigungsanweisungen hinzuweisen.

2 Hilfsstoffe

Diese sind Stoffe, welche zu keinem Bestandteil oder nur zu einem geringen Anteil in das gefertigte Erzeugnis eingehen. Für die Produktion von Strukturbauteilen erforderliche Hilfsstoffe sind Reinigungsmittel und Trennmittel. Mit den Reinigungsmitteln ist die Sauberkeit am Arbeitsplatz zu gewährleisten. Trennmittel werden zum Eintrennen von Formwerkzeugen des RTM und des Autoklaven benötigt.

3 Betriebsstoffe

Betriebsstoffe sind all jene Stoffe, die zum Betreiben der Arbeitssysteme erforderlich werden, jedoch keinen Einzug ins Produkt finden. Zu diesen gehören Strom, Druckluft, Kühlwasser und Schmierstoffe. Notwendige Schmierstoffe für Maschinen und Anlagen sind entweder in den Fertigungsanweisungen o.a. in den Vorschriften zur Wartung und Instandhaltung festgelegt.

4 Personal

Für die Lieferungen und Leistungen von Hilfsmitteln, Hilfsstoffen, Betriebsmitteln und Betriebsstoffen einschließlich der Herstellung von H/C Strukturbauteilen wird das folgende Personal benötigt:

Lieferant: Dieser definiert zusammen mit dem Kunden die erforderlichen Lieferungen und Leistungen zum/zur: Entwicklung, Konstruktion, Ein-, Auf- oder Umbau, Bearbeitung, Inbetriebnahme, Versorgung, Wartung, Instandhaltung etc. Die Lieferungen und Leistungen beziehen sich auf die zur Herstellung und Montage von H/C Strukturbauteilen benötigten Fabrikeinrichtungen, Arbeitssysteme und Fertigungshilfsmittel. Es werden Lieferanten der externen und internen Lieferkette unterschieden.

Hersteller: Der Hersteller fertigt die Maschinen und Anlagen und/oder stellt die angeforderte Software entsprechend der vertraglichen Bestimmung bereit.

Installateur: Dieser stellt die Maschinen und Anlagen nach den definierten Vereinbarungen auf.

Systemintegratoren: Sie sind im Allgemeinen Personen, die für die Integration von Hardware und Softwaresystemen zuständig sind. Ihre Rolle ist die Definition von Anforderungen und die Erarbeitung von Lösungen für automatisierte Anlagen einschließlich der Realisierung.

Projektierer: Der Projektierer konfiguriert und programmiert die Maschinen und Anlagen und passt diese an die Arbeitsschritte zur Fertigung an. Die Ausführung der Funktionen ist zusammen mit dem Lieferanten und dem Betreiber abzustimmen.

Betreiber: Der Betreiber betreibt die Maschinen und Anlagen und führt nach Vereinbarung Service- und Wartungsaufgaben selbst aus. Hierfür werden qualifizierte Maschinen und Anlagenführer benötigt.

Maschinen- & Anlagenführer: Der Maschinen- und Anlagenführer vollführt Aufgaben zum Steuern, Kontrollieren und Überwachen der Maschinen und Anlagen.

Anmerkung:

Bei der (teil-) automatisierten Montage zum Front-End steuern und überwachen Werker (W) Roboter und Fertigungszelle (W_Roboter), Single Diaphragma-Anlage (W_SD) und RTM-Pressen (W_RTM). In der automatisierten Montage zum Back-End werden Anlagenführer für Zellensteuerung und Roboter (W_Roboter) benötigt.

Transport-Hilfskraft: Der Werker Transporthilfskraft (W_TH) übernimmt die Aufgaben zur Handhabung und zum Transport von Materialien, Erzeugnissen und Werkzeugen. Die Transportfunktionen werden in der Transportmatrix festgelegt. Der Transporteur muss dazu über einen Führerschein für Flurförderzeuge und Hebezeuge verfügen.

5 Arbeitssystem(e)

Das Arbeitssystem (DIN EN ISO 6385 [82]) umfasst diejenigen Teilsysteme und Komponenten, durch welche die Bauteile und Baugruppen eine Änderung auf die geometrischen Eigenschaften erfahren als auch in stofflichen Eigenschaften verändert werden können. Für die Fertigung und Montage von Strukturbauteilen aus FVW kommen alle diejenigen Arbeitssysteme in Betracht, die zur bestmöglichen Erfüllung den definierten Anforderungen entsprechen. Für das Front- und Back-End ausgewählte Arbeitssysteme sind im Folgenden erläutert. Die technischen Daten ausgewählter Arbeitssysteme sind dem Anhang O1 zu entnehmen.

Cutter mit Ballenkarussell: Zum Zuschneiden der Materialien und Preformlagen ist ein Multifunktionscutter 180/250 zuzüglich Werkzeugkopf, Werkzeug, Steuerungsgerät, Ballenkarussell und Hilfsantrieb geeignet. Der Funktionscutter ist darauf ausgelegt, verschiedene Schneidwerkzeuge an einem Werkzeugkopf zu verwenden. Die Werkzeugköpfe verfügen über Halterungen für Markier- oder Zeichenstifte. Dadurch, dass unterschiedliche Schneidmesser eingesetzt werden können, ist der Cutter für nahezu alle Einzellagenzuschnitte anwendbar. Mit dem Ballenkarussell können bis zu fünf Materialrollen auf einer drehbaren Gondel gespeichert werden. Das Positionieren der Rollenmaterialien erfolgt wahlweise automatisch o.a. manuell mit einer Kurbel. Ferner verfügt das Ballenkarussell über eine Handhabungseinheit zum Be- und Entladen der Rohmaterialien. Jedem Material ist bei entsprechender Farbcodierung eine definierte Position im Karussell zugewiesen.

CNC-Fräsmaschine: Das CNC-gesteuerte 5-Achs-Bearbeitungszentrum der Firma MAKAL dient dem Fräsen von Schaumkernwerkstoffen. Mit der CNC-MAKAL ist ein programmgesteuerter Einsatz und Austausch von Werkzeugen zum Zerspanen gewährleistet, wodurch eine Vielzahl unterschiedlicher Materialien wie Kernwerkstoffe bearbeitet werden können. Verfah- und Schnittgeschwindigkeiten lassen sich über Programmierung und Steuerung auf Material und Prozess optimal anpassen.

Bandsäge: Zur groben Bearbeitung von Wabenkernen und Schaumwerkstoffen wie Rohacell findet die HEMA Bandsäge vom Typ UH 900L/M der Firma Hahn und Kolb Verwendung. Fertigungsplaner aus der Luftfahrtindustrie bei Airbus Helicopters haben die HEMA Bandsäge für tauglich erklärt.

Industrieroboter: Der Einsatz von Industrierobotern mit adaptierten Effektoren ist im Rahmen der Forschungsarbeit zur Handhabung und Bearbeitung von Faserhalbzeugen und Strukturbauteilen gedacht. Der Industrieroboter KUKA 210 Quantec ultra liefert für das geforderte Einsatzspektrum die optimalen Leistungsmerkmale.

Lineareinheit: Die Lineareinheit ist eine Baugruppe, welche es dem Industrieroboter ermöglicht, in einer definierten Führungslinie zu verfahren. Über Installation einer zusätzlichen linearen Einheit lässt sich der Arbeitsraum des Industrieroboters erweitern. Bei der modernen Montage der H/C Bodengruppe können die Posen im Bearbeitungszustand mit dem Roboter zunächst nicht erreicht werden, was die Auslegung und Verwendung einer zusätzlichen Linearachse notwendig macht. Elemente der Lineareinheit sind Fahrgestell, elektrischer Antrieb inkl. Energieversorgungssystem, Führungsschienen und Stopper.

Pick & Drape & Activate (PDA) Endeffektor: Mit dem PDA Endeffektor sollen Faserpreforms aus bebinderten Faserlagen (2500x500 mm) hergestellt werden. Dieser Effektor muss dazu in der Lage sein, die Aufgaben zum Aufnehmen, Ablegen und Drapieren von Faserlagen unter gleichzeitigem Aufheizen des Bindermaterials durchzuführen. Die Aufnahme der Faserlagen erfolgt mittels Niederdruckflächensauggreifer und über 52 voneinander unabhängigen Saugkammern mit überstülpten Schaumpolstern. Jede Saugkammer ist radial auf zwei Heizfelder reduziert. Die Formgeometrie des PDA entspricht einem modifizierten Reuleaux-Dreieck mit abgerundeten Ecken, was die Ablage von Winkeln mit bis zu 90° ermöglicht. Die Entwicklung und Konstruktion des PDA Effektors hat am Institut für Werkzeugbau (IWB) des Anwenderzentrums in Augsburg stattgefunden. Der Endeffektor ist seit März 2013 bei Airbus Helicopters in der Erprobung, jedoch nicht für serielle Anwendungen qualifiziert.

Pick & Weld (P&W) Endeffektor: Der P&W Endeffektor ist vorgesehen zum automatisierten Aufnehmen, Ablegen und punktuellen Verschweißen von bebinderten Faserlagen der Größenordnung 100x100mm bis 200x200mm. Die Entwicklung dieses Endeffektors entstammt aus dem LUFO Projekt PRESTO [115]. Der P&W Effektor ist zum Teil in der vorliegenden Arbeit erprobt und für den seriellen Einsatz zur Lagenverstärkung in der Teilefertigung qualifiziert.

Atmosphären-Druck-Plasma (ADP) Endeffektor: Der ADP Endeffektor des Herstellers Plasmatreat GmbH ist zur automatisierten Oberflächenvorbehandlung von Montageteilen mit Atmosphärendruckplasma bestimmt. Seit 2012 befindet sich der ADP Effektor in der Erprobung für H/C Strukturbauteile bei Airbus Helicopters.

Klebeapplikationskopf (KAK): Mit Roboter und Klebeapplikationskopf ist vorgesehen, den Shimm- und/oder Klebstoffauftrag automatisiert durchzuführen. Damit der Klebekopf für unterschiedliche Klebeapplikationen angewendet werden kann, ist ein Halter zur Aufnahme von Doppelkartuschen für Zweikomponenten Klebstoffe eingebaut. Der für die F&E von H/C Strukturbauteilen verwendete Klebeapplikationskopf ist eine Entwicklung vom IVW aus Kaiserslautern und wird seit 2012 für Montageanwendungen bei Airbus Helicopters erprobt.

Induktions- Erwärmungskopf (IEK): Unter Verwendung des am Roboter adaptierten IEK hat der Härtevorgang zum Schnellaushärten von Shimm- und Klebstoffen vollautomatisch zu erfolgen. Der vom IVW entwickelte IEK hat seine Funktionen erfolgreich unter Beweis gestellt und dient seit 2012 bei Airbus Helicopters für Testzwecke zum punktuellen Aushärten von Klebestellen.

Frame-Greifer: Der Frame-Greifer ist zur Aufnahme und Montage von je einem Frame (A-D) bestimmt. Zum Handhaben der Frames mit Roboter ist die Ausführung des Frame-Greifers in Montageszenario 2 als Vakuumsauggreifer geplant. Die Montageteile lassen sich über drei am Greifer befindliche Vakuumteller ansaugen. Für den Frame-Greifer besteht seitens des DLR-ZLP eine technische Zeichnung. Diese ist jedoch nicht weiter spezifiziert.

Framework-Greifer: Das Framework-Greifergestell aus Aluminium verfügt über eine Hauptachse und an jeder Seite vier Querverstrebungen sowie eine Aufhängung am Roboter.

Acht Spannvorrichtungen an den Quertraversen dienen zur Werkzeugaufnahme des Frameworks. Die Einspannung des Frameworks erfolgt über pneumatische Verriegelung.

Diaphragma-Anlage: Für die Herstellung von Preforms im Single Diaphragma Umformverfahren wird in F&E bei Airbus Helicopters eine Vakuumpresse angewendet. Die Diaphragma-Anlage besteht aus einer Vakuumhaube mit Hochleistungs-Öl-Vakuumpumpe und einem Heiztisch mit Thermostat für Wärmeträgeröl. Die Vakuumhaube ist eine elastische Mosite-Membran, welche automatisch auf- und abgefahren werden kann. Beim Senken der Vakuumhaube wird das Formwerkzeug von der Membran umschlossen. Der Heiztisch verfügt über eine beheizbare Metallplatte zur Auflage der Drapiervorrichtung. Am Heiztisch lassen sich Temperatureinstellungen vornehmen. Dazu umfasst die Diaphragma-Anlage Messfühler zur Temperatur- und Druckmessung an Drapierformwerkzeug und Heiztisch.

Bügeleisen: Beim manuellen Heißbügeln von bebinderten Faserlagen wird ein beheizbares industrielles Bügeleisen verwendet, welches vom Werker einfach und gut bedient werden kann. Zur Anwendung steht das seit 2013 bei Airbus Helicopters im Einsatz befindliche Fuzzy Iron Bügeleisen vom Typ #4050CE. Das Heißbügeleisen verfügt über eine Teflon- beschichtete Kontaktfläche und über eine im Griff des Werkzeugs integrierte Temperaturregeleinheit.

RTM-Pressen: Zur Fertigung von FVK Strukturbauteilen gemäß RTM-Verfahren findet eine beheizbare hydraulische Oberkolbenpresse mit Schließkräften von bis zu zehn kN Verwendung. Die im Einsatz bei Airbus Helicopters befindlichen RTM-Pressen sind im Stande, Druck- und Temperaturniveau im Formwerkzeug und in der Anlage zu regeln. Für die Harzinjektion wird eine separate Injektionsanlage benötigt. Mit der Injektionseinheit lassen sich Harzsysteme vom Typ RTM6 entgasen und unter drehzahlgeregeltem Volumenstrom sowie Drücken von sechs bis zehn bar in das Formwerkzeug leiten. Das überschüssige Harz wird in einen neben der Presse befindlichen Behälter abgefangen.

6 Werkzeugvorrichtungen

Geplante Werkzeugvorrichtungen sind Drapierformwerkzeuge, RTM-Formwerkzeug und stationäre Montagevorrichtungen für Frames und Bodenschale. Darstellungen der Werkzeugvorrichtungen siehe Anhang O2.

Drapierformwerkzeuge: Formwerkzeuge für Longerons und Frames sind als zwei geteilte Formen ausgeführt. Diese stammen aus dem Werkzeugbau von Airbus Helicopters.

Anmerkung:

Zur Herstellung der Verbindungselemente liegen keine Drapierformwerkzeuge vor. Diese sind in Absprache mit dem Design, Toolingbau und der Fertigung zu treffen.

RTM-Formwerkzeug: Mit der RTM-Fertigung des integralen Frameworks aus INSTRUKT wird ein stabiles Formwerkzeug benötigt, welches beim Erhitzen einen guten und möglichst gleichmäßigen Wärmeübertrag bis in die innere Struktur des Bauteils garantiert. Das RTM-Werkzeug besteht im Wesentlichen aus einem Ober- und Unterkasten aus Stahl und zahlreichen Formkernen aus wärmeleitfähigem Aluminium. Der Toolingbau von Airbus Helicopters hat das RTM-Formwerkzeug in 2012 planmäßig bereitgestellt. Anschlüsse zur Infiltration und für den Harzfluss sind gewährleistet.

Frame-Station: Die Framestation dient zur Einspannung der Frames A-D in Montageszenario 1. Das Gestell der Framestation wird an einer Bodenplatte befestigt. Über eine Führungsleiste am

Gestell kann der Abstand der Framevorrichtungen zueinander variabel eingestellt werden. Die Abstände sind auf die Geometrie der Bodengruppe angepasst. Halterungselemente und ein aktives Vakuumsystem mit sieben Vakuumsaugöffnungen an den Halterungsplatten legen Position und Lage der Frames fest. Das Vakuumsystem der Frame-Station beinhaltet einen Vakuumanschluss zur Vakuumpumpe und Kanaleinlässe zur Halterung. Die Entwicklung und Realisierung der Frame-Station stammt vom DLR-ZLP.

Station-Bodenschale: Die Station zur Montage der Bodenschale besteht aus einem Formwerkzeug aus Stahl in das die Bodenschale eingelegt wird. Zum Anpressen des Frameworks mit Greiferwerkzeug auf die Bodenschale verfügt die Montagestation über eine Spannvorrichtung mit acht pneumatisch geregelten Zylindern. Die Spannzylinder vom Typ DNC 63-320 der Firma Festo gewährleisten die erforderliche Kraftübertragung. Das DLR-ZLP hat die Realisierung der Station zur Montage der Bodenschale im Forschungsprojekt zu INSTRUKT übernommen.

7 Material und Bauteil-Speicher

Für einen reibungslosen Produktionsfluss sind Material und Strukturbauteile bei Bedarf der Produktion bereitzustellen. Dafür benötigt werden Speicher und Speichersysteme in denen die Verbrauchsmaterialien und das Teilespektrum zwischengelagert werden (siehe Anhang O3). Zum Speichern der Montageteile wird ein Speichertisch mit Liegeflächen für Frames, Framework und Bodenschale benötigt. Die Frames werden in Framehalter eingeordnet. Der Framespeicher kann auf dem Speichertisch montiert werden.

8 Arbeits- und Drapiertische

Für die Be- und Nachbearbeitung von Fasermaterialien und FVW-Bauteilen werden Arbeits- und Drapiertische benötigt. Ein Tisch, welcher Funktionen zur Nacharbeit erfüllt, erhält die Bezeichnung einer Nachbearbeitungsstation (NBS). Für die Fertigung der H/C Bodengruppe relevante Arbeits- und Drapiertische siehe Anhang O4.

9 Werkzeug-Speichersysteme

Zur vollautomatischen Aufnahme und Ablage von Greifern und Werkzeugen mit automatisierten Arbeitsmaschinen sind Werkzeug-Speichersysteme für Ziehmesser, Markierstift, Werkzeugschneide und Effektoren wie Greifer und Funktionsköpfe erforderlich.

Werkzeughalter für Ziehmesser und Markierstift sind direkt an der Anlage des Cutters integriert. Für die benötigten Fräsköpfe ist das Werkzeugspeichersystem bei Airbus Helicopters ein integrierter Bestandteil des CNC- gesteuerten Bearbeitungszentrums. Der Werkzeugspeicher enthält ein vollautomatisch rotierendes Kettenmagazin, welches bis zu 24 Werkzeuge fasst. Für die Endeffektoren sind jeweils eigenständige Werkzeughalter vorgesehen. Die Halterungen sind über eine Führung zur Werkzeugaufgabe und über einen Sicherungsbolzen zum Flansch am Werkzeug gesichert. Eine pneumatisch geregelte Abdeckhaube mit Öffnungs- und Schliessfunktion schützt die Werkzeughalter zusätzlich vor Staub und anderweitigen Verschmutzungen.

10 Wechselsystem-Effektoren

Das Werkzeugwechselsystem ist eine Vorrichtung zum Austausch von Werkzeugen am Flansch des Arbeitssystems. Das Wechselsystem besteht aus einem am Arbeitssystem montierten Oberteil und verschiedenen Unterteilen, welche werkzeugseitig an den Greifern bzw. Werkzeugen befestigt werden. Bei einem WW verriegelt sich das Oberteil mit dem Unterteil.

Zumeist verfügen die Wechselsysteme über eine standardisierte Schnittstelle, damit eine Austauschbarkeit der Werkzeuge und Effektoren gewährleistet ist. Erforderlich sind Werkzeugwechselsysteme für:

- Ziehmesser und Markierstift
- CNC-Schneidekopf für Schaum- und Wabenkerne
- Industrieroboter und Effektoren

Das Wechselsystem für Ziehmesser und Markierstift ist Bestandteil der Cutter-Anlage. Werkzeugwechsler der MAKRA Fräsmaschine sind für Werkzeuge mit Ø60mm geeignet. Das Wechselsystem zur Werkzeugaufnahme der Effektoren verfügt über eine Momentaufnahme von bis zu 12.000 Nm und ist zum Bedienerschutz auf die Not-AUS Situation ausgelegt. Der Anschlussflansch für Roboter ist Teilkreis- gefertigt und kann direkt ohne Adapterplatte am Roboter montiert werden. Weitere technische Daten zum Wechselsystem siehe Anhang O5.

Anmerkung:

Für die Anbindung des Werkzeugwechselsystems zum P&W Endeffektor, Frame-Greifer und Framework-Greifer an den Industrieroboter vom Typ KR210 R3100 ultra sind keine Adapter definiert.

11 Versorgungssysteme - Energie und Informationsfluss

Zum Betreiben des Industrieroboters und Effektoren werden die in Abbildung 114 bezeichneten Anschlüsse und Leitungen benötigt.

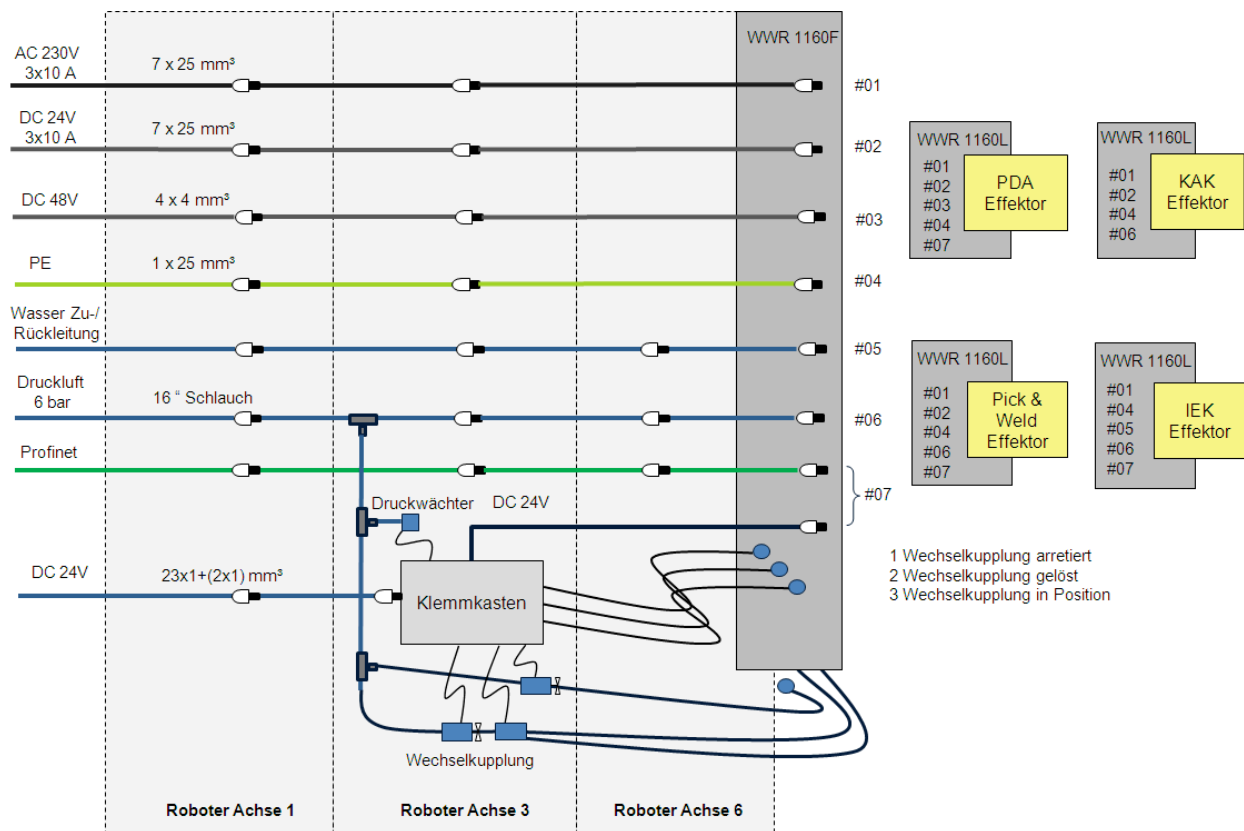


Abbildung 114 – Energieversorgungsnetz für Industrieroboter und Effektoren nach [116]

Die Anschlusssituation von Roboter und Effektoren sind standardisierte Energieelemente der Firma Sommer Automatic. Details hierzu sind im Anhang O6 aufgeführt.

Anmerkung:

Der Plasmafunktionskopf erhält eigene Anschlüsse für Strom und Druckluft, welche nicht über die Roboterschnittstelle geschaltet sind. Die Steuerung des ADP Endeffektors wird über Leitungen und Schnittstellen zum Transformator und Generator der Plasmafunktionseinheit realisiert.

12 Technisches Steuerungssystem

Automatisierte Arbeitssysteme erfordern für die Durchführung definierter Arbeitsschritte eine systemorientierte Steuerungs- und Regelungseinheit. Diese besteht aus einer Hardware und Software mit systemorientierten Programmen. Mit dem Technischen Steuerungssystem werden die relevanten Informationen zur Bedienung und Steuerung der Arbeitsmaschinen zugeteilt. Die Aufgaben des Technischen Steuerungssystems sind:

- Inbetriebnahme der Arbeitssysteme
- Steuerung und Bewegung von Arbeitssystemen und Greifern
- Beeinflussung von Prozess-, Füge- und Handhabungselementen
- Aufnahme und Verarbeitung von Sensorsignalen
- Sicherheits- und Diagnosefunktionen
- Unterstützung zum Bedienen, Einrichten und Konfigurieren der Arbeitssysteme

Speicherprogrammierbare Steuerung: Die zentrale Steuerungseinheit der Robotersteuerung bildet die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS). Das Steuerungssystem der Arbeitssysteme sieht eine SPS vor, welche Schreib-Lese-Speicher wie die des Random Access Memory (RAM) verwendet. Dies bedeutet, dass die relevanten Informationen frei, auch unter geringen Aufwand abschnittsweise geändert werden können. Über ein ProfiNet Bussystem werden Befehle von der SPS zur Steuerung der Manipulatorarm-Motoren gesendet, wodurch die Drehschrittmotoren der Roboter gesteuert und geregelt werden sollen. Der Achsregler steuert und regelt schließlich die Achsen des Roboters. Effektoren sowie Prüf- und Mess-Sensorik sind ebenfalls über die SPS anzusteuern.

Leitrechner: Ein Leitreechner übernimmt die zentralen Steuerungsaufgaben der Roboterzelle und die der Industrieroboter. Zudem unterstützt der Leitreechner die Netzanbindung an das Intranet, Internet und Ethernet.

Steuerschaltschrank: Dieser überliefert dem Roboter die Daten der Steuerung und sendet empfangene Signale von Sensorik und Roboter an den Leitreechner zurück. Ein Bussystem sorgt für die notwendige Verknüpfung aller Ein- und Ausgabesignale. Für die Roboterzelle ist ein Steuerschrank mit der neusten SPS-Steuerung vom Typ KRC4 der Firma KUKA vorgesehen. Die Details zum Steuerschrank sind im technischen Datenblatt der Firma KUKA hinterlegt (siehe Kuka [117]).

Handprogrammiergerät (HPG): Mit einem HPG ähnlich dem SmartPAD der Firma KUKA ist die Parametrisierung der Steuerung durchzuführen. Erforderliche Koordinaten, Zustellwinkel und Geschwindigkeitsparameter, welche in das HPG eingegeben werden, lassen sich über eine Schnittstellenperipherie an die Robotersteuerung übertragen. Informationen zum HPG smart PAD sind beim Hersteller, der Firma KUKA, erhältlich (siehe [118]).

PDA Steuereinheit: Informationen zur PDA Steuereinheit siehe [119].

P&W Steuereinheit: Regel- und Steuereinheit zum automatisierten „Pick & Weld“ mit Industrieroboter und PDA-Effektor siehe [120].

Software zur Robotersteuerung: Für den Leitrechner findet das Betriebssystem Windows 7 Verwendung. Die Programmierung der Roboterbewegungen und deren Achsen erfolgt über die Software Step 7 von Siemens und mittels HPG von KUKA. Zum Programmieren der Prozesssteuerung werden Compiler für Hochsprachen benötigt.

Programmiersprachen: Step 7 der Fa. Siemens, behandelt vornehmlich Programmiersprachen der verknüpfungsorientierten Steuerung wie:

- Kontaktplan (KOP)
- Funktionsbaustein Sprache (FUB)
- Anweisungsliste (AWL)

Die Programmierung der Prozesse und Energiesteuerung erfolgt in Form strukturierter Texte mit den Hochsprachen C und/oder C++.

13 Organisatorisches Steuerungssystem

Das organisatorische Steuerungssystem soll Informationen vermitteln, welche zur Steuerung des organisatorischen Ablaufs von der Programm- und Produktionsplanung ausgeführt werden können, mit dem Hintergrund robuste Planungsziele zu erreichen und die Produktion zu unterstützen. Hierfür empfiehlt es sich, zukünftig die Roboterzellen an die System-Anwender-Software (SAP) anzubinden.

14 Transportsystem

Dieses muss in der Lage sein, die erforderlichen Materialien und Bauteile der Fertigung bereitzustellen und die Erzeugnisse nach vollständiger Bearbeitung und Freigabe zur nächsten Arbeitsstation o.a. Lager zu transportieren. Für die Abwicklung der geplanten Transportaufgaben werden unstetige Fördereinrichtungen und von einer Transporthilfskraft geführte Transportmittel eingesetzt. Für innerbetriebliche Transportleistungen werden ausschließlich Fördermittel und Ladehilfsmittel betrachtet. Dazu verwendete Fördermittel sind:

Unstetigförderer, zum vollautomatischen Befördern von Rollenmaterialien und Faserflächengebilden auf dem Schneidetisch. Dieser ist Bestandteil des Cutter Arbeitssystems.

Flurgebundene Fördermittel, zum Überführen von Rohmaterialien und Teilespektren vom Lager und/oder von der Arbeitsstation zum bzw. zur nächsten. Zum Einsatz kommen mit Motor getriebene Elektro-Stapler und Elektro-Schlepper o.a. Plattformwagen ähnlich denen der Firma Still (siehe Anhang O7). Im Außenbereich eingesetzte Transportfahrzeuge verfügen über einen speziellen Aufbau mit Abdeckung. Weitere technische Details siehe [121,122]

Flurfreie Fördermittel: Für den Be- und Entladevorgang von RTM-Formwerkzeug und Framework kommt ein vom Werker geführter Schwenkkran zum Einsatz. Dieser ist nicht im Detail spezifiziert.

Ladeeinheiten und Ladehilfsmittel: Benötigt werden Transportbehälter, Europaletten und Spanngurte zum Sichern von Transportgut wie Rohmaterialien, Erzeugnisse und dgl.

15 Prüf- und Messsystem

Die Aufgabe der Prüfsysteme ist es, die vorgegebenen Sollwerte mit den Istwerten zu vergleichen. Messsysteme dienen der Bestimmung von Prozesskenngrößen sowie Material- und Produkteigenschaften. Im Front-End integrierte Messsysteme sind:

- Messsysteme zur Positions- und Lageerkennung am Cutter
- Druck- und Temperatur – Messsysteme beim Preforming

Integrierte Messsysteme in der Montagezelle zum Back-End sind:

- Infrarot Messfühler am IEK
- Messgerät zum Vermessen von Fügesubstraten

Für die Vermessung der Fügesubstrate von H/C Bodengruppen ist das Messsystem ATOS II der Gesellschaft für Optische Messtechnik (GOM) geeignet. Das Messsystem (Anhang O8) ist zur Erprobung in F&E am LMP bei Airbus Helicopters in Betrieb.

Anmerkung:

Für eine umfangreiche Qualitätsanalyse werden Messsysteme zur Positions- und Lageerkennung, Analyse der Oberflächengüte und Temperaturmessung an der Klebedüse sowie Kraft-Weg Messgeräte an der Einspannung benötigt.

Bei der Auswahl von Prüf- und Messsystemen sind Anforderungen wie Messbarkeit, Messgenauigkeit, Kosten, Prüf- und Messzeit, Integrationsfähigkeit, Messort, Messfolge, Energieverbrauch und weitere Merkmale zu berücksichtigen.

16 Abfall- & Entsorgungssystem

Das Abfall- und Entsorgungssystem besteht aus einem Sondermülllager und dem Wertstoffhof. Es gelten die Abfallverordnungen nach dem Farbleitsystem [123] und die Leitlinien zur Verschrottung von nicht verwendbarem Material und Luftfahrzeugteilen.

17 Instandhaltungssystem

Dies besteht aus einem Störungs-Meldesystem sowie einem Wartungs- und Instandsetzungssystem.

DIN 31051: behandelt Grundlagen der Instandhaltung, darin eingeschlossen Instandsetzung, Wartung und Inspektion [124].

a) Störungs-Meldesystem

Über ein Störungs- und Meldesystem sollen Störungen, die bei der Produktion anfallen, erkannt und gemeldet werden. Hierfür ist ein Fehlererkennungssystem vorzusehen. Die Meldung eines Fehlers oder einer Störung kann automatisch erfolgen und ist entsprechend an eine Leitwarte zu vermitteln. Meldepflichtig sind Ereignisse gemäß (EASA Part-145), (FAR-145) und (TCCA). Wiederholt auftretende Mängel sind dem bereichsbezogenen Werkzeugverantwortlichen und dem Quality Management gemäß der EASA Teil-145 des Instandhaltungsbetriebs zu melden. Das Melde- und Berichtswesen an Behörden, andere Betriebe und Institutionen ist in Form von Instruktionen niedergebeschrieben.

b) Wartungs- und Instandsetzungssystem

Das Wartungssystem unterstützt die Durchführung von vorbeugenden Wartungen, um Störungen an Teilsystemen zu vermeiden. Durch eine entsprechende Wartungsstrategie können Ausfälle vermieden werden. Ein Instandsetzungssystem unterstützt die Sicherstellung, dass der funktionsfähige Zustand erhalten bleibt oder bei Ausfall wieder hergestellt wird. Das Instandsetzungssystem soll an den ausgewählten Arbeits- und Teilsystemen korrigierende Maßnahmen einleiten oder durchzuführende Maßnahmen vorschlagen. Das System zur Instandsetzung kann dabei einem administrativen Computerprogramm wie bspw. SAP zu Grunde liegen.

Dem Instandsetzungssystem sind die folgenden Ziele gesetzt:

- Planung durchzuführender Tätigkeiten zur Instandsetzung
- Verminderung von Instandsetzungszeiten und Kosten
- Vermeidung von Maschinenausfällen
- Reduzierung von Maschinenstillstandzeiten
- Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit
- Erhöhung der Betriebssicherheit
- Verringerung von Störungen

Zuständigkeiten und Maßnahmen zur Instandhaltung siehe DE.145.0049 (EASA Part-145), E0UY429Y (FAR-145), 802-03 (TCCA).

18 Schutzsysteme und Schutzeinrichtungen

Zur Sicherung des Arbeitsraumes automatisierter Arbeitssysteme sind Schutzeinrichtungen wie Notausschalter, Schiebetür und Tor, Verriegelungen, Schutzzaun, Signalleuchten o.a. Kollisions- und Überlastschutz erforderlich.

19 Fabrik – Flächen und Gebäude

Als Standort der geplanten Fabrik ist die „Grüne Wiese“ gewählt. Längen und Breiten der Stationsflächen entstammen dem detaillierten Fabriklayout. Stationsflächen fließen in die Kosten- und Investitionsplanung ein.

In Summe wird für Front-End Szenario 1 der mit 413m² größte industrielle Flächenbedarf benötigt. Der geringste Flächenbedarf von rund 300m² fällt für Sz 4 an. Flächen für jeweilige Stationen zum Front-End sind im Anhang O9 dargelegt. Der geplante Flächenbedarf für die Montageszenarien zum Back-End liegt gleichermaßen bei 144m².

Anmerkung:

Flächen für Verkehrswege und Sanitäreinrichtungen sind nicht berücksichtigt.

12 Kosten- und Wirtschaftlichkeitsanalyse

Über die Kosten- und Wirtschaftlichkeitsanalyse werden Investitionen, Kosten und Kapitalwerte (KW) der untersuchten Produktionsszenarien untereinander verglichen und auftretende Abweichungen zur Planung begründet.

12.1 Investitionsvergleich

Im Investitionsvergleich werden die Gesamtinvestitionen der Front- und Back-End Szenarien und die Verteilung der Investitionen auf die Ressourcenklassen (siehe Kapitel 11.2) untersucht.

Anmerkung:

Die Investitionen stammen aus der Studie [125]. Investitionen für Prüf- und Messsysteme bleiben unberücksichtigt. Diese würden für sämtliche Szenarien gleichermaßen anfallen.

Die Berechnung der Investitionsvolumina kann nach unterschiedlichen Fällen erfolgen (siehe Kapitel 7.5). Im Hinblick auf eine Neuanschaffung benötigter Ressourcen werden die Investitionen nach Fall A analysiert (siehe Abbildungen 115 und 116). Investitionen der Front-End Szenarien nach den Fällen B und C sind im Anhang P dargelegt. Für die neue Montagezelle zum Back-End kann auf den prozentualen Investitionsvergleich nach Fall B und C verzichtet werden. Eine Nutzung der Montagezelle für weitere Programme hätte im Verhältnis zu den Investitionen der Back-End Szenarien gleichermaßen Einfluss wie in Fall A dargestellt.

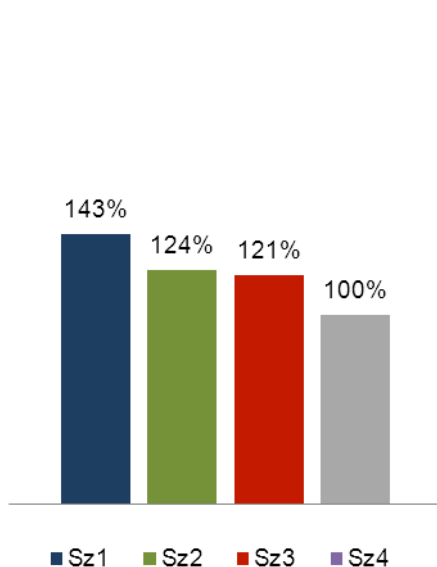


Abbildung 115 – Investitionsvolumen der Front-End Szenarien nach Fall A

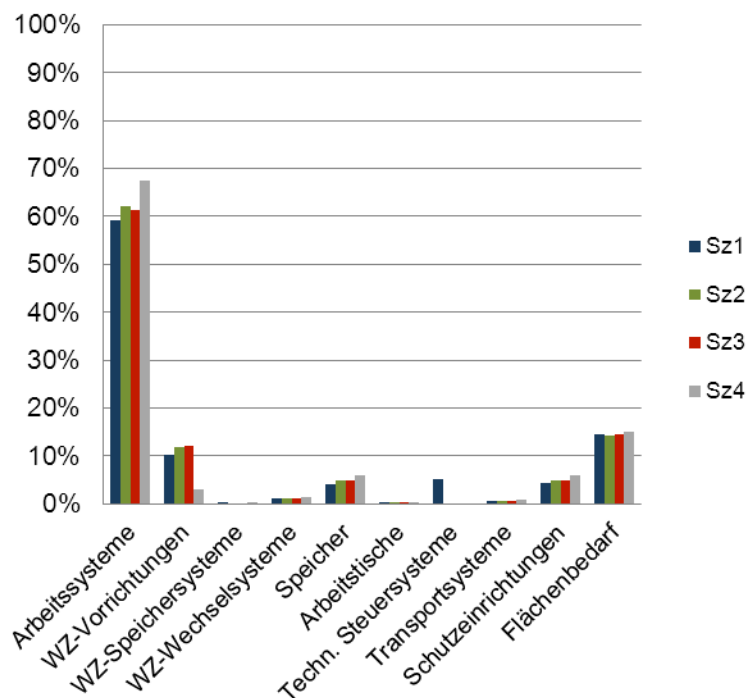


Abbildung 116 – Investitionsvolumen der Front-End Szenarien aus Fall A verteilt auf Ressourcenklassen

Aus der Gegenüberstellung der Investitionsvolumina zum Front-End wird deutlich, dass die Ressourcen zur Differentialbauweise in Sz 4 gegenüber denen der Szenarien in Integralbau-

weise weniger Investitionen beanspruchen. Die Gesamtinvestitionen weichen von Sz 4 um 21% (Sz 3) bis 43% (Sz 1) ab. Im Back-End steigt die Investitionssumme von Sz 1 zu Sz 2 mit dem Frame-Greifer um gerademal 0,5%.

Eine Analyse der Investitionen verteilt auf die Ressourcenklassen hat ergeben, dass die Arbeitssysteme in allen drei Fallunterscheidungen die größten Investitionen bergen. Gemessen an den Gesamtinvestitionen nach Fall A variiert der Investitionsbedarf je nach Szenario im Front-End von zwischen rund 59-67% für Arbeitssysteme, 14-15% für Flächenbedarf und 3-12% für WZ-Vorrichtungen. Bei allen übrigen Ressourcenklassen liegen die Investitionen jeweils anteilig bei unter 5%.

Anmerkung:

Über eine zweite Einlegestation der RTM-Pressen lassen sich Einsparungen bei den Gesamtinvestitionen für Sz 1, 2 und 3 gegenüber Sz 4 von zwischen 5-15% erzielen.

Die anteilmäßige Verteilung der Investitionssummen auf die Ressourcengruppen zum Back-End liegt Abbildung 117 zu Grunde.

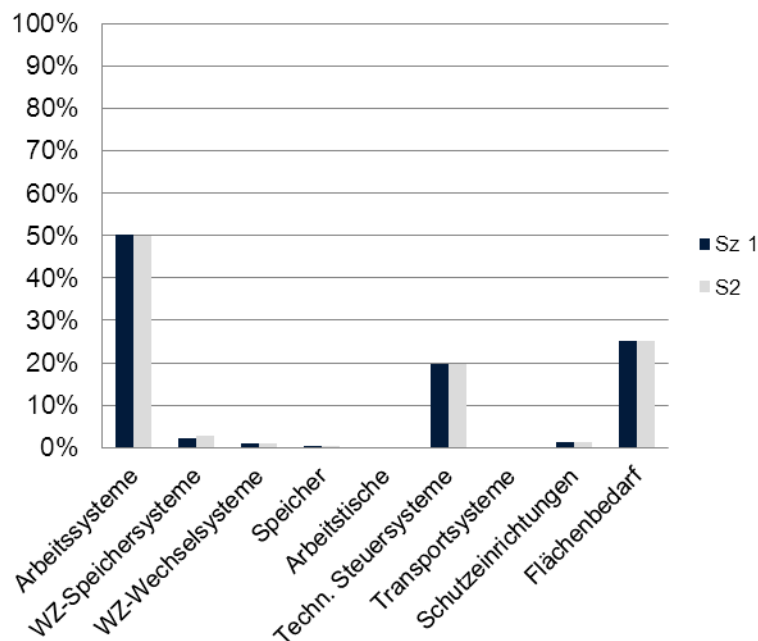


Abbildung 117 – Investitionsvolumen der Back-End Szenarien aus Fall A verteilt auf Ressourcenklassen

Für Arbeitssysteme werden rund 50%, für Flächenbedarf zirka 20% und für technische Steuerungssysteme rund 25% der Gesamtinvestitionen benötigt. Alle übrigen Systeme erfordern weniger als 5% der Investitionssumme.

Grundsätzlich bilden die Investitionen für Arbeitssysteme sowohl beim Front-End als auch beim Back-End den größten Posten. Darauf folgt der Flächenbedarf. Ferner ist festzustellen, dass mit zunehmender Automatisierung die Kosten für technische Steuerungssysteme ansteigen.

12.2 Kostenvergleich

Der Kostenvergleich geplanter Szenarien zum Front- und Back-End umfasst die Kosten für die Herstellung (darin enthalten MK und FK). Stückkosten werden ausschließlich für Front-End Szenarien analysiert. Die Kostenrechnung erfolgt derzeit über ein im Rahmen dieser Arbeit entwickeltes Kalkulationsmodell in MS Excel. Plandaten aus DPE werden mit großem Aufwand händisch überführt.

Anmerkung:

Mit dem Ziel den zeitlichen Aufwand zur Kostenauswertung zu begrenzen und mögliche Fehler beim manuellen Überführen der Daten von DELMIA DPE in MS Excel zu vermeiden, ist für die zukünftige Kostenplanung angedacht, die Material- und Fertigungskosten automatisiert auszuwerten. In F&E von H/C Strukturbauteilen bei Airbus lassen sich mit DPE bisher ausschließlich die Materialkosten von einem geplanten Fertigungslos über die Materialverbräuche und die Materialkosten pro Einheit berechnen. Erweiterte Konfigurationen bei DPE würden zugleich die Kostenrechnung für spezifische Produktgruppen (Zwischen- und Endprodukte) von bspw. Preforms und Assemblies zuzüglich Varianten ermöglichen. Geplant ist die automatisierte Ausgabe der Material- und Fertigungskosten für Zwischen- und Endprodukte unter Berücksichtigung von Planwerten wie Kalkulationszeitraum, Faktoren der Lernkurve, Stundenlohn, TPZ, Lohnsteigerungen, Preissteigerungen o.a. inflationärer Zins und MGK-Zuschlag mit DPE (siehe [98]). Insbesondere kann der Planer dabei möglichst zügig auf variable Preisschwankungen und Planwertänderungen reagieren und das Produktionsprogramm sehr einfach auf dem aktuellen Stand halten.

a) Herstellkosten

Verglichen werden die HK der Front- und Back-End Szenarien in G und F. Für die Berechnung der HK werden die Planungsprämissen aus Kapitel 6 und Rechenmodelle aus Kapitel 8.2 angewendet. Es werden HK der Back-End Szenarien auf der Dispositionsstufe der Bodengruppe analysiert. In den Abbildungen 118 und 119 sind die Kosten der Herstellung gegenübergestellt.

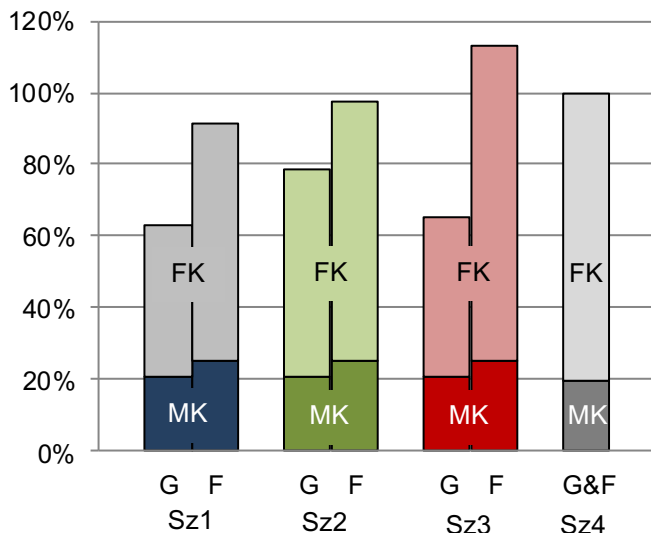


Abbildung 118 – Geplante HK der Front-End Szenarien

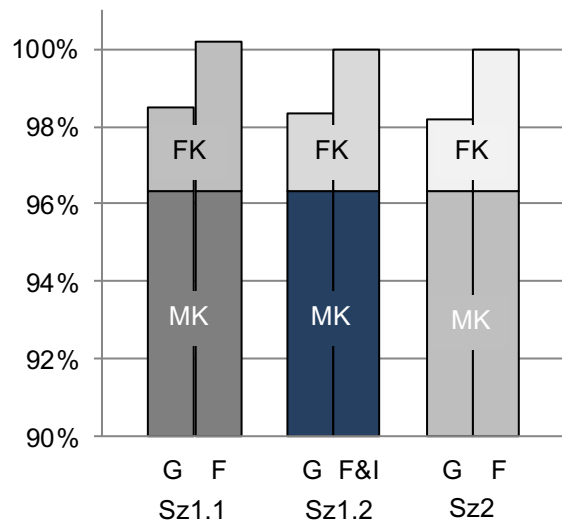


Abbildung 119 – Geplante HK der Szenarien zum Back-End

Während die geplanten HK der Front-End Szenarien von G zu F mit zwischen 19-48% abweichen, beträgt die Abweichung der Szenarien zum Back-End gerademal 2%. Der Anteil von MK zu HK beläuft sich für die Front-End Szenarien in G auf rund 20-33% und in F auf rund 20-

28%. Der übrige Anteil wird den FK zu Teil. Im Back-End liegt der Anteil von MK zu HK auf der Dispositionsstufe der H/C Bodengruppe bei allen Szenarien in G&F zwischen rund 95-97%. Die FK tragen an den HK der Montageszenarien mit nicht mehr als 5% bei.

Beim Vergleich der HK zum Front-End aus F schneidet Sz 1 am besten ab. Der Kostenunterschied von Sz 1 zu Sz 4 liegt bei rund 10%. An zweiter Stelle fallen, verglichen zu Sz 4, für Sz 2 nur 2% weniger und für Sz 3 rund 13% mehr an HK an. Bei den Montageszenarien liegt der Kostenunterschied bei der Herstellung unter einem Prozent.

Anmerkung:

Die Kostenauswertung beläuft sich auf einen Planungszeitraum von zehn Jahren unter geplanten Produktionsraten aus Kapitel 6 und TPZ(40). Die Lernfaktoren der Lernkurve (T20) werden im Vorfeld ermittelt und mit den manuellen Zeitanteilen verrechnet. Zur Berechnung der MK sind die für Strukturbauteile aktuellen Einkaufspreise der Rohmaterialien maßgebend. Der MGK Zuschlagsatz wird mit 12% gewählt. Angaben zu Materialverbräuchen sind in Kapitel 9.5 dargelegt. Steigerungen der Lohn- und Materialkosten werden über einen fixen Prozentsatz von 2,5% berücksichtigt. Die Berechnung der FK erfolgt nach der Kostenrechnung zu Alternative 2. Bei dieser Alternative ist der FGK Zuschlagsatz bereits im Stundensatz enthalten. Eine Projektumlage wird vernachlässigt.

b) Stückkosten

Es werden die Stückkosten der Szenarien zum Front-End aus F über die geplante Produktionszeit von zehn Jahren verglichen (siehe Abbildung 120).

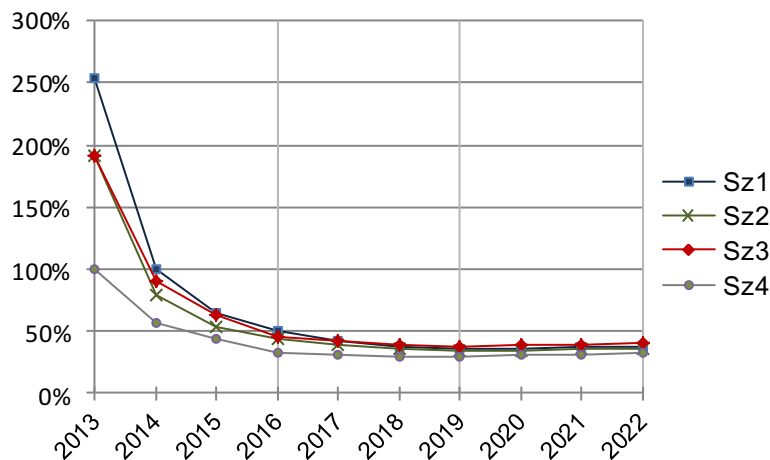


Abbildung 120 – Stückkostenvergleich der Szenarien zum Front-End

Zu Beginn der Planlaufzeit fällt für Sz 1, 2 und 3 gegenüber Sz 4 rund das zwei- bis zweieinhalbfache an Stückkosten an. Im Stückkostenvergleich liegen die Kosten zu Sz 4 bis zum Ende der Planlaufzeit am günstigsten. Von 2013 bis 2016 gehen die Stückkosten stark zurück. Die Stückkosten zu Sz 4 belaufen sich in 2016 auf nur noch 32% vom Anfangswert. Nach zehn Jahren der Planlaufzeit beträgt die maximale Abweichung der Stückkosten von Sz 4 zu Sz 3 rund 8%.

Anmerkung:

Nachdem die Stückkosten von den Gesamtkosten und der TPZ abhängen sind die Änderungen dieser Faktoren zu betrachten. Durch eine Anhebung der Ausbringungsmenge kommt es zu einer anteilmäßigen Verschiebung der fixen zu den variablen Kosten. Diese Veränderung kommt den (teil-) auto-

matisierten Szenarien zu Gute. Zu Beginn der Produktion sind die Fixkosten der Hauptkostentreiber. Hierzu zählen die kalkulatorischen Abschreibungen und kalkulatorischen Zinsen. Im Jahr 2013 liegt der Fixkostenanteil gemessen an den Gesamtkosten für Sz 1, 2 und 3 zwischen zirka 81-90%. Zum Vergleich liegt der Fixkostenanteil zu Sz 4 im gleichen Jahr bei zirka 66%. Auffällig ist, dass mit zunehmender Automatisierung der Fixkostenanteil ansteigt. So liegen die Fixkosten für Sz 1 um den Faktor 1,5 höher als für Sz 3 und um 3,5 über dem zu Sz 4. Die niedrigsten Fixkosten hat Sz 4 zu verbuchen. Innerhalb der Fixkosten entfallen unabhängig vom Szenario rund 60% auf kalkulatorische Abschreibungen und 40% auf kalkulatorische Zinsen. In den Folgejahren sind die variablen Kosten die Hauptkostentreiber. Ihr Anteil an Kges beläuft sich für Sz 1, 2 und 3 zum Ende der Planlaufzeit auf zwischen 70-81%. Den größten Posten der variablen Kosten bilden die FK mit 71-78%. Die übrigen Anteile der Kv entfallen fast vollständig auf die MK. Die sonstigen Kosten beanspruchen unter 5%.

12.3 Kapitalwertvergleich

In Abbildung 121 werden die kumulierten Barwerte (BW_{kum}) aus der Feinplanung der Front-End Szenarien 1, 2 und 3 zu dem von Sz 4 unter sinnvoll abgeschätztem Verkaufspreis gegenübergestellt und deren Kapitalwerte verglichen.

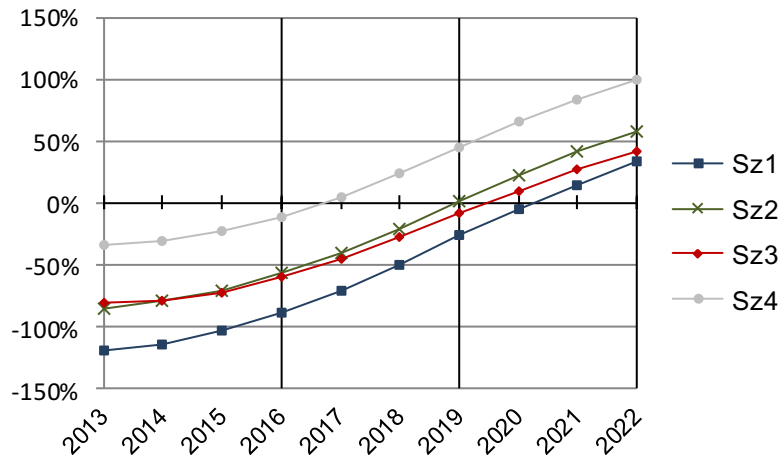


Abbildung 121 – Kapitalwertvergleich und BW der Front-End Szenarien

Bei Betrachtung der BW_{kum} erreichen alle Szenarien über die Planlaufzeit positive KW. Der KW von Sz 4 liegt rund doppelt so hoch wie die KW der anderen Szenarien. Der zweithöchste KW kommt Sz 2 zu Gute. Im Jahre 2017 erzielt Sz 4 erstmals positive BW_{kum} . Sz 2 folgt zwei Jahre später. Die Szenarien 3 und 4 amortisieren sich erst in den Jahren 2020 und 2021.

Anmerkung:

Es sei darauf hingewiesen, dass Sz 4 zwar das wirtschaftlich effizienteste Szenario darstellt, dieses Ergebnis jedoch differenziert zu betrachten ist. Ein wesentlicher Grund ist, dass sich Veränderungen von Laufzeit oder Ausbringungsmenge auf die wirtschaftliche Effizienz auswirken. Bei zunehmender TPZ oder Verlängerung der Planlaufzeit kann bspw. Sz 2 gegenüber Sz 4 effizienter werden. Die Kadenz zu der Sz 2 gegenüber Sz 4 wirtschaftlicher würde liegt bei ca. 570 Strukturbauteilen. Das entspricht bei gleichbleibender Hochlaufkurve und TPZ(40) einer Produktionslaufzeit von rund 18 Jahren.

Neben den Parametern Verkaufspreis und TPZ hat der Kapitalzins ebenfalls einen starken Einfluss auf den KW. Bereits bei Änderungen des Kapitalzinses im einstelligen Prozentbereich sind große Schwankungen zu erwarten, und der KW fällt kleiner aus. Bei einer Senkung des Kapitalzinses ist der umgekehrte Effekt der Fall.

13 Szenario-Analyse

Die Gegenüberstellung der Szenarien zum Front- und Back-End erfolgt über das entwickelte Bewertungsmodell (siehe Anhang Q) für H/C Strukturbauteile und auf Basis spezifizierter Merkmalswerte aus der IPP in F&E. Für Front- und Back-End werden jeweils separate Bewertungen durchgeführt. Zur Gewichtung der Merkmalswerte wird der Grad der Abhängigkeit in Ziffern von wenig (0) bis mittel (1) und hoch (2) vergeben. Die Bewertung der Kriterien erfolgt für die jeweiligen Szenarien nach dem Grad der Erfüllung von mäßig (1) bis mittel (2) und gut (3). Die Gewichtung und Bewertung der Szenarien ist mittels der Bewertungsmodelle von mindestens fünf Teilnehmern unabhängig und eigenständig durchzuführen.

13.1 Szenario-Analyse „Front-End“

Der Bewertung zum Front-End liegen gemittelte Gewichtungen folgender Bewertungskategorien zu Grunde:

Gemittelte Gewichtung	Bewertungskategorie
39%	Qualität
26%	Produktivität & Wirtschaftlichkeit
23%	Flexibilität
8%	Sicherheit & Zuverlässigkeit
5%	Ergonomie

Bei der Gewichtung der Kriterien hat sich herausgestellt, dass für die Herstellung von Strukturbauteilen der im Mittel größte gewichtete Anteil der Bewertungskategorie Qualität zugewiesen wird. Von Integral- zur Differentialbauweise sind ähnlich gute Produktqualitäten bei der hergestellten Frameworkstruktur zu erwarten. Dadurch, dass beim Einlegen und Positionieren der Preforms in das RTM-Werkzeug Ungenauigkeiten auftreten, sind qualitative Mängel in der Gesamtstruktur unabdingbar. Bei der Differentialbauweise in Sz 4 ist jedoch mit Fügespaltmaßen zu rechnen, welche mit einer Spaltmasse auszugleichen sind.

Deutlich schwächer hingegen ist die Produktqualität bei Sz 1 zu bewerten. Die Form- und Lagegenauigkeit der Preformlagen können beim Drapieren mit Roboter und Drapierkopf nicht eingehalten werden. Hierfür sind Korrekturmaßnahmen zur Bahnsteuerung des PDA Effektors erforderlich. Was das Heißbügeln von Preformlagen nach Sz 3 betrifft, ist die Fehlerquote bei großflächigen Bauteilen höher ausgefallen, nachdem unregelmäßige Bewegungsabläufe zu unbearbeiteten Fehlstellen führen. Bei Realisierung von Sz 3 ist mit den meisten Mängeln zu rechnen.

Unter Betrachtung der Kennzahlen zu Kosten und Wirtschaftlichkeit stellt die Differentialbauweise die günstigste Investitionsalternative dar. Zwar fallen für Sz 4 die höchsten Herstellkosten an, jedoch lassen sich aufgrund des niedrigen Investitionsbedarfs geringere Stückkosten und über die Planlaufzeit weit höhere Kapitalwerte erzielen. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeit schneidet Sz 1 bei den Herstellkosten am besten ab. Beim Abgleich der Produktivitätsfaktoren weisen die Szenarien der Integralbauweise, allen voran Sz 1, die höchste Ausbringungsmenge, eine kürzere Durchlaufzeit und eine in den Grenzen optimale Belegung aus. Die daraus resultierende Erkenntnis ist, dass mit zunehmenden automatisierten Arbeitsabläufen die Produktivität

gesteigert werden kann. Aufgrund der überlasteten Drapierstationen in Sz 3 und 4 ist jedoch die Einrichtung von weiteren parallelbetriebenen Stationen notwendig, was sich wiederum auf die Investitionen auswirkt. Zum Vergleich kann im geplanten Zweischichtbetrieb für Sz 1 der Produktionsausstoß um rund 20% und der von Sz 2 um etwa 10% gesteigert werden.

Bei der Bewertung von Flexibilitätsmerkmalen zum Einsatz, der Anpassung, Durchlaufreizfähigkeit und Speicherefähigkeit sind den Szenarien 3 und 4 die höchsten Wertungen zuzusprechen. Sz 1 kann im Hinblick auf Produktionsredundanz und Erweiterungsfähigkeit der quantitativen und qualitativen Kapazitäten mit am besten Punkten. Die Wertungen der Flexibilitätsmerkmale von Sz 2 bewegen sich im Mittel zwischen denen von Sz 1 und 4. Die Analyse der Einsatz- und Anpassungsflexibilität hat ergeben, dass zum Ablegen von Faserlagen manuelle Arbeitskräfte am besten geeignet sind. Es stellt sich heraus, dass keines der modernen Arbeitssysteme beim Drapieren so flexibel ist wie der Werker selbst. Die Verarbeitung von zumeist kleinen bebinderten Faserlagen wie bei den Verbindungselementen können mit der Diaphragmaanlage sowie dem PDA Funktionskopf kaum, und wenn nur schwer, realisiert werden. Vereinzelte, zumeist schmale und bebinderte Einzellagen müssen vom Werker mit einem Bügeleisen angehaftet werden. Für derartig gekrümmte Formen wie bei den Verbindungselementen sind das robotergestützte Pick & Drape mit dem PDA Funktionskopf und das Diaphragmaumformverfahren ungeeignet. Zur Herstellung von Verbindungselementen mit PDA Funktionskopf muss die Bahnsteuerung angepasst oder die Konstruktion am Drapierformwerkzeug geändert werden. Demzufolge ist der Einsatz- und Arbeitsbereich des PDA Funktionskopfes zu dem der manuellen Arbeitskräfte beschränkt, zumal mit Roboter und Drapierformwerkzeug nur einseitig bebinderte Faserlagen von maximal 2,5m Länge, 50mm Breite und Formgeometrien mit Winkeln bis $\pm 90^\circ$ abgelegt werden können. Für Szenario 1 besteht dennoch ein großes Verbesserungspotential, die Produktqualität durch Optimierung der Bahnsteuerung zum Preforming gezielt steigern zu können.

Des Weiteren sind die Szenarien im Hinblick auf die Aspekte der Sicherheit und Zuverlässigkeit zu inspizieren. Hierbei stehen neben der Sicherheit von Arbeitsmaschinen die Systemzuverlässigkeit, Systemverfügbarkeit und der Arbeitsschutz im Vordergrund. Die Schutzmaßnahmen der jeweiligen Szenarien liegen in einem ausgewogenen Verhältnis. Für die Anwendung und den Einsatz von Arbeitssystemen sind Sicherheitsvorkehrungen gemäß den Maschinenrichtlinien zu treffen. Grundsätzlich gilt der Leitsatz, dass mit zunehmender Anzahl an Systemkomponenten die Wahrscheinlichkeit eines Systemausfalls steigt. Bei der Erprobung des PDA Funktionskopfes zu Sz 1 sind häufig die Sauglüfter und Heizelemente ausgefallen. Ferner erhöht sich mit der zusätzlichen Montagestation nach Sz 4 ebenfalls das Risiko des Ausfalls von Montagewerkzeugen. Bei Fertigungsabläufen, bei denen der Werker im direkten Kontakt mit der Herstellung der Produkte steht, ist auf die Sicherheitsvorschriften zum Arbeitsschutz hinzuweisen. In der Teilefertigung von CFK Strukturbauteilen ist für das Anlegen von persönlicher Schutzausrüstung Sorge zu tragen.

Zuletzt fließen die Erkenntnisse aus der Ergonomieanalyse in die Bewertung der Szenarien ein. Sz 1 hat bei den Aspekten zum Handhabungsaufwand und der Bedienerfreundlichkeit die besten Wertungen erhalten. Die Handhabung zum Preforming von vereinzelt Faserlagen in Sz 1 werden vereinfacht über koordiniert gesteuerte Bewegungsabläufe von Roboter und PDA Funktionskopf umgesetzt. Ein Maschinen- und Anlagenführer muss dazu über das Bedienpult der Roboterzelle ausschließlich Befehle zum Einleiten und Beenden der Robotersteuerung erteilen. Bei allen übrigen Szenarien sind für die vielen aufwendigen Handhabungsschritte

Werker zuständig. Was die Zugänglichkeit und Reparaturfreundlichkeit anbelangt, ist es mit den Werkzeugen des Heißbügels und Falzbeins besser bestellt. Mit diesen Handhabungswerkzeugen werden dem Werker weit kleinere Winkel und zum Teil auch Hinterschneidungen bei komplexen Formgeometrien zugänglich gemacht. Werkzeuge mit einer Vielzahl an Systemkomponenten wie etwa dem PDA Funktionskopf müssen häufig gewartet und repariert werden. Ein Austausch ausgefallener Lüfter und Heizelemente erfordert aufwendige Aus- und Einbaumaßnahmen.

Das Ergebnis der ganzheitlichen Szenarioanalyse ist in Abbildung 122 veranschaulicht.

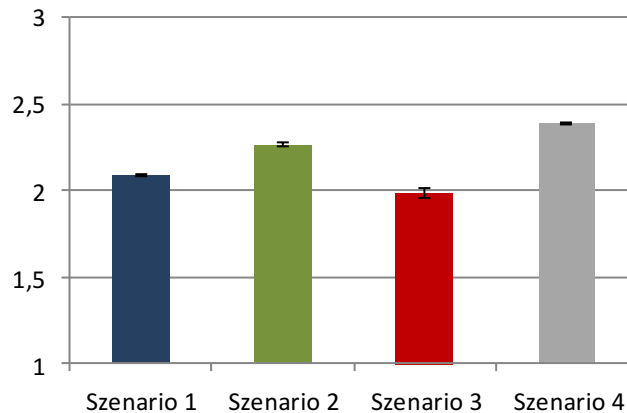


Abbildung 122 – Ergebnis der Bewertung der Front-End Szenarien

Aus der Gegenüberstellung der Szenarien zur Herstellung von H/C Strukturbauteilen eines Frameworks ist die nach Prepregtechnologie herkömmliche Differentialbauweise von Sz 4 mit der höchsten Wertung hervorgegangen. Das nach den Anforderungen der integralen Bauweise beste Szenario zum Preforming ist Sz 2. Mit Sz 2 und 4 kann eine gute Produktqualität zur Herstellung von Preforms und Strukturbauteilen gewährleistet werden. Sehr zum Vorteil von Sz 2 und 4 lassen sich nahezu uneingeschränkt viele Produktvarianten herstellen. Qualitative Mängel beim Preforming mit Roboter und PDA Effektor sind nach gegenwärtigem Stand nicht behoben. Aber auch das Heißbügeln zum Anhaften großflächiger Faserlagen ist aufgrund der Reproduzierbarkeit für industrielle Zwecke ungeeignet. Was letztlich die entscheidenden Unterschiede zwischen Sz 2 und 4 ausmacht, sind die neben der Qualität ebenfalls hoch gewichteten Bewertungskriterien der Kosten, Produktivität und Wirtschaftlichkeit. Hierzu hat Sz 4 gegenüber Sz 2 die besseren Wertungen erhalten.

13.2 Szenario-Analyse „Back-End“

Die fundierte Szenario-Analyse der Back-End Szenarien basiert auf ausgewählten Merkmalswerten unter vorab geplanter Gewichtung. Die Gewichtung spezifischer Kriterien der Montageszenarien einschließlich Varianten zum Back-End hat für definierte Bewertungskategorien im Mittel folgende prozentuale Verteilung ergeben:

Gemittelte Gewichtung	Bewertungskategorie
37%	Qualität
26%	Produktivität & Wirtschaftlichkeit
23%	Flexibilität
9%	Sicherheit & Zuverlässigkeit
6%	Ergonomie

In Anbetracht der Gewichtung für spezifizierte Anforderungsmerkmale tritt der signifikante Anteil der Qualität von Produkten und Prozessen hervor. Beim Fügen der Frames zum Framework innerhalb der Framestation hat Sz 1 gegenüber dem Fügen mit Frame-Greifer in Sz 2 einen qualitativen Vorteil zu verzeichnen. Die Toleranzeinhaltung mit der Fügestation ist weit besser gewährleistet, da die Frames in der stationären Einspannung örtlich fixiert vorliegen. Durch die eher komplexe fliegende Montage der Frames in Sz 2 ist beim Anpressen der Montageteile mit Roboter von einer unregelmäßigen Krafteinleitung auszugehen. Eine Verbesserung der Füge-toleranzen aus Sz 2 ist konstruktiv durch Modifizierung der Montageführung und/oder mit zunehmenden Aufwendungen beim Positionieren der Greiferwerkzeuge mit Roboter verbunden. Was Kosten, Produktivität und Wirtschaftlichkeit anbelangt, hat Sz 2 am besten abgeschnitten. Tendenziell werden mit dem Frame-Greifer in Sz 2 gegenüber Sz 1 knapp ein Prozent mehr an Investitionen benötigt. Durch den verkürzten Fertigungsablauf beim durchgängig automatisierten Produktionsfluss in Sz 2 fällt verglichen mit Sz 1 ein um wenige Prozent niedrigerer Anteil an Fertigungs- und Herstellkosten an. Im Hinblick auf die Durchlaufzeit ist mit Sz 2 der höchste Produktionsausstoß geplant. Die Ausbringungsmenge von Sz 1.2 liegt um 3% über der in Variante 1. Was allen Montageszenarien zu Gute kommt ist die Tatsache, dass die Belegungen der Vorrichtungen durch induktive Schnellaushärtung von vereinzeltten Verbindungsstellen gegenüber der gegenwärtigen Montage reduziert werden können.

Die Vorteile von Sz 2 werden im Hinblick auf die Aspekte der Flexibilität deutlich. Mit der fliegenden Montage in Sz 2 ist ein größerer Freiraum gewährleistet. Zudem besteht für Sz 2 gegenüber Sz 1 ein größeres Potential, die Stückzahl zu steigern.

Bei den Punkten Arbeitssicherheit und Zuverlässigkeit sind Unterbrechungen im Fertigungsablauf unabdingbar. Nachdem in Sz 1 ein Werker mit mehreren Zellenläufen zum Einspannen der Frames in der Roboterzelle intervenieren muss, ist dieser auf die Arbeitsschutzvorkehrungen hinzuweisen. Demgegenüber sind mit dem Frame-Greifer in Sz 2 weitaus mehr Sicherheitsaspekte für Arbeitsmaschinen zu prüfen.

Weitere Analysen ergonomischer Prinzipien haben kaum Einfluss auf das Ergebnis der Gesamtauswertung. Während in Sz 1 der Werker die Frames in die Framestation einspannt, entfällt der Handhabungsaufwand in der Montage in Sz 2 gänzlich auf Roboter und Effektoren.

Aufgrund zahlreicher Energieanschlüsse des Frame-Greifers ist es um die Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit mit der Framestation besser bestellt.
Der Szenarioanalyse liegt folgendes in Abbildung 123 dargestelltes Ergebnis zu Grunde.

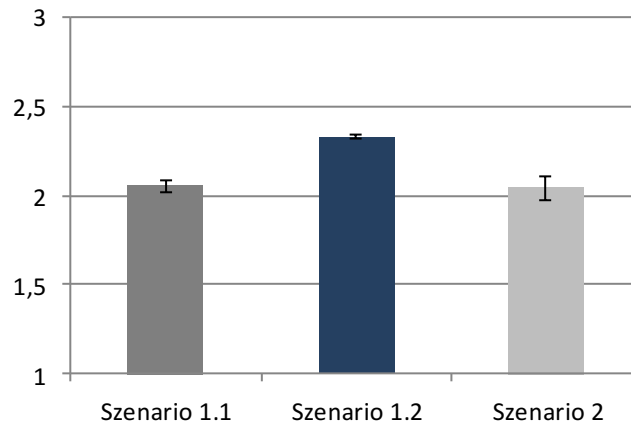


Abbildung 123 – Ergebnis der Bewertung der Back-End Szenarien

Unter der ganzheitlichen Betrachtung der Merkmalswerte der Szenarioanalyse zum Back-End haben die qualitativen Aspekte zur Prozess- und Produktqualität aus Sz 1 diejenigen in Sz 2 übertroffen. Selbst die begünstigten Kennzahlen der Kosten und Produktivität für Sz 2 können die Vorteile bei qualitativ hochwertigeren Produkte und stabileren Prozessen von Sz 1 nicht aufwiegen. Nach der Szenarioanalyse zu urteilen, schneidet Sz 1.2 am besten ab. Darauf folgen Sz 1.1 und Montageszenario 2. Der wesentliche Unterschied der Varianten in Sz 1 wird an Differenzierungsmerkmalen der Fügetoleranz, der Kosten und der Produktivität deutlich. Damit stellt Sz 1.2 das nach der Integrierten Planung in F&E beste Entwurfsszenario dar.

14 Zusammenfassung und Ausblick

Vor dem Hintergrund, die Kosten und das Gewicht von H/C Strukturbauteilen zu senken und die Automatisierung in der Teilefertigung und Montage zu steigern, ist eine Vorgehensweise zur Untersuchung von Produktionsalternativen erforscht, entwickelt und in Form eines Programmleitfadens ausgearbeitet worden. Es sei darauf hingewiesen, dass der Hubschrauberbau im Bereich „Airframes“ bei Airbus Helicopters über keinen Integrierten Programmleitfaden für die Erforschung von Produktionsalternativen verfügte. Der bisherige Programmleitfaden bei Airbus wurde von einer anfänglichen Strategie bis zum Entwurfsszenario um den Bereich der F&E erweitert und zur Integrierten Planung für H/C Airframes ausgebaut. Der entwickelte Ablaufplan ist ein integrierter Bestandteil des Program Management und an den „Integrierten Planungsprozess für Serienproduktionsprogramme“ (engl. Bez. „Manage Integrated Planning“) bei Airbus anzuknüpfen (siehe Abbildung 124).

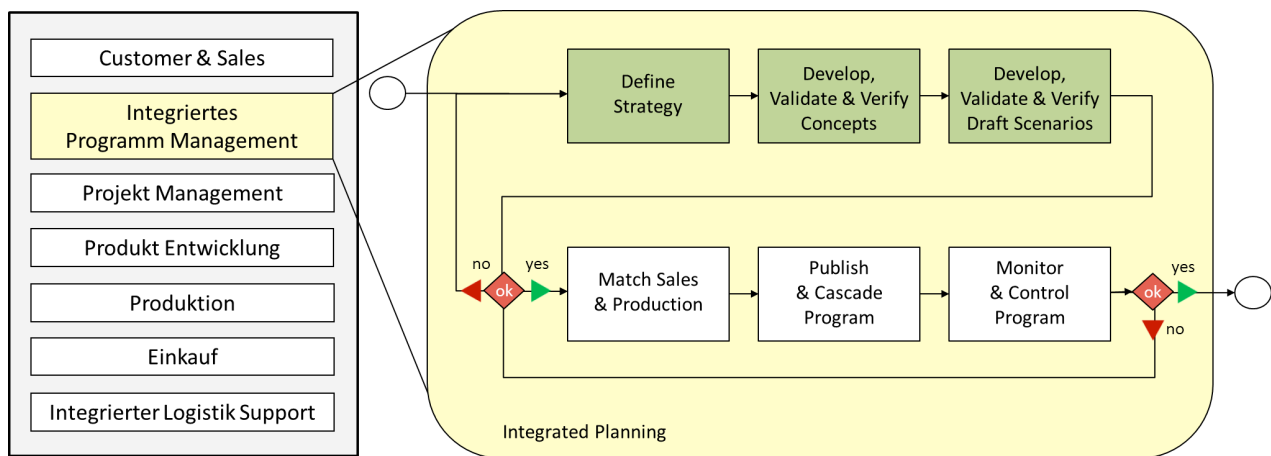


Abbildung 124 – Ganzheitlicher Integrierter Planungsprozess

Für die Durchführung Integrierter Planungsaktivitäten bedarf es eines Prozess Management Teams welches über Manager aus unterschiedlichen Bereichen verfügt (siehe Abbildung 125).

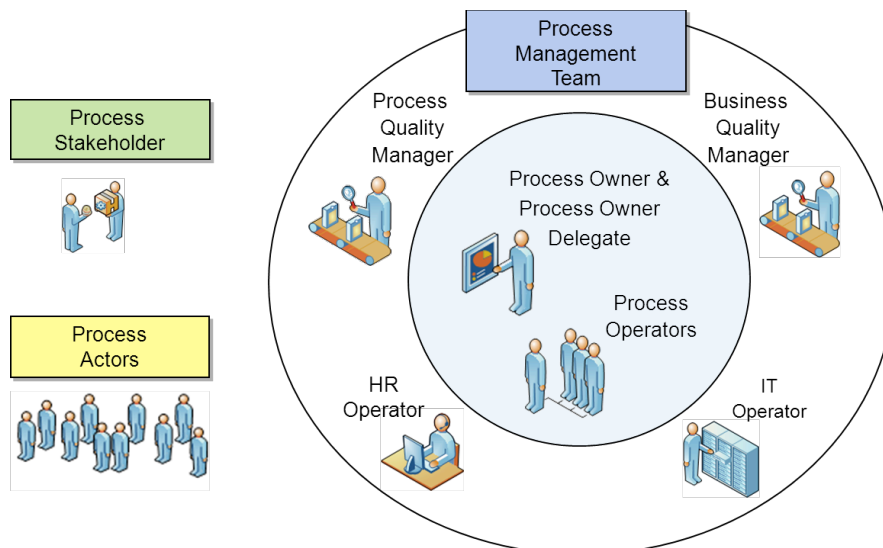


Abbildung 125 – Prozess Management Team der Integrierten Produktionsprogrammplanung

Prozess Operatoren des Prozess Management Teams benötigen die notwendigen Fähigkeiten und Kompetenzen, den IP Prozess über sämtliche Bereiche (siehe Abbildung 126) zu managen.

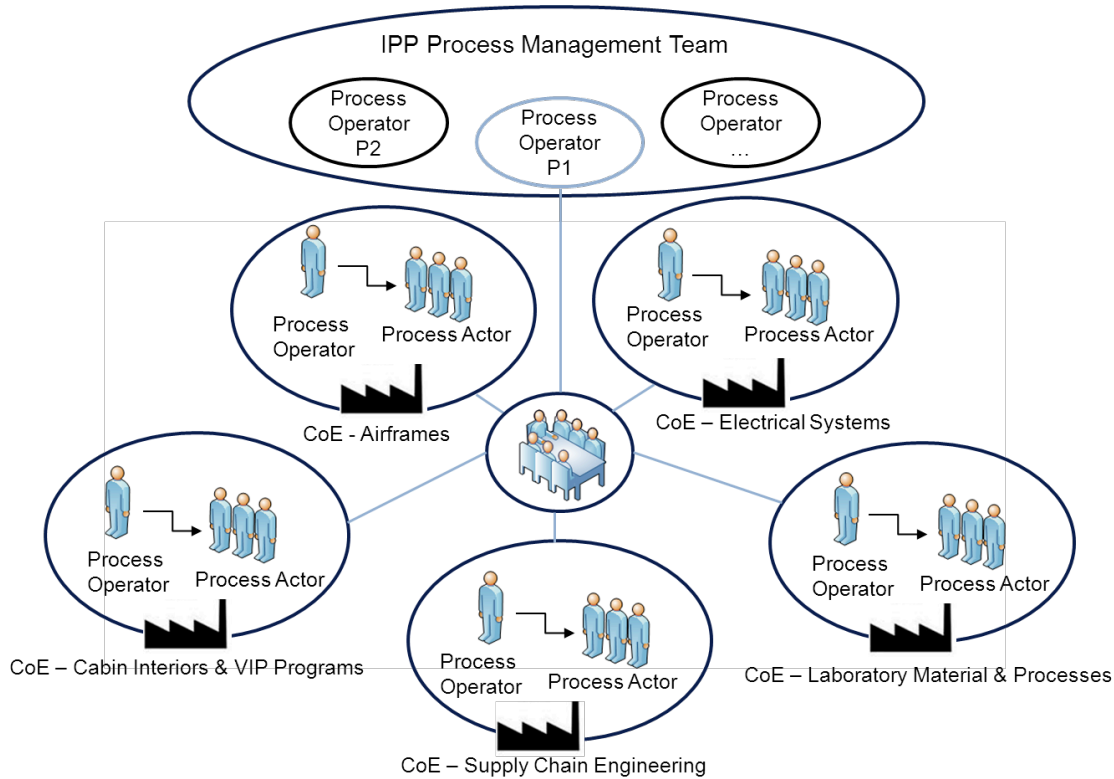


Abbildung 126 – Prozess Operatoren innerhalb der IPP

Um die Zusammenarbeit der IP zu fördern, empfiehlt es sich, für das IP Netzwerk ein prozedurales Dokument zu entwickeln. Mit dem IP Handbuch soll ein klares Verständnis über das Vorgehen in der IP für Serienproduktionsprogramme einschließlich der F&E von Produktionsalternativen geschaffen und dem IP-Manager eine Leitlinie zum operativen Geschäft mit auf den Weg gegeben werden. Das IP Handbuch sollte relevante Prozesse der Integrierten Planung enthalten und die Management-Richtlinie von Airbus berücksichtigen. Dies beinhaltet u.a. Prozess Management Definitionen, Prozessabläufe, Rollen wie Verantwortlichkeiten, Informationen der benötigten Tools, Anforderungen und zugehörige Referenzen. Das Dokument ließe sich nutzen als Richtlinie, Wissensdatenbank, Schulungsunterlage sowie als Referenz für kohärente Zusammenarbeiten. Zukünftige Anwender des Benutzerhandbuches sind das IP Netzwerk o.a. Planungsmanager, Prozess-Teilhaber, Prozess- und Tool-Anwender und neue Mitarbeiter, welche in das IP Netzwerk eintreten.

Neben der Entwicklung der IP von H/C Airframes lag der Forschungsschwerpunkt dieser Arbeit auf der Prozessplanung zur (teil-) automatisierten Herstellung von H/C Strukturbauteilen. Mit den erforschten IPP Planungsprozessen und dem zugehörigen Airbus Netzwerk in F&E wurden Strategien und Vorgehensweise in der Produktionsplanung von H/C Strukturbauteilen festgelegt. Strukturbauteile der Bodengruppe wurden bis heute mit hohem Aufwand differential gefertigt und vernietet. Um Gewicht einzusparen wurde gegenüber der alternativen Differentialbauweise beabsichtigt, künftige H/C Strukturbauteile in Faserverbundbauweise integral zu fertigen. Zudem sollten mit der Integration innovativer (teil-) automatisierter Verfahren

die Kosten in der Herstellung gesenkt werden. Zu den modernen untersuchten Fertigungs- und Montageverfahren in der F&E zählen das automatisierte Pick & Drape, Pick & Weld, die robotergestützte Oberflächenaktivierung, das vollautomatische Kleben und/oder Shimmen und das automatisierte Induktionshärteverfahren. Des Weiteren ist ein automatisiertes Q-Inline Oberflächenmessverfahren zur Vermessung von Fügespaltmaßen erprobt worden. Im Rahmen der F&E von (teil-) automatisierten Produktionsalternativen wurde die Prozessplanung in die Bereiche der Teilefertigung (Front-End) und Montage (Back-End) aufgeteilt. Ferner wurde die Produktionsplanung am Beispiel der Herstellung von jährlich 40 zivilen H/C Bodengruppen aus FVW festgemacht.

Zuzüglich der innovativen Automatisierungsverfahren in F&E wurden für die Produktionsplanung grundlegende Planungsprämissen wie TPZ, Planlaufzeit, Schichtmodell, Lernfaktoren, Automatisierungsgrad und dgl. festgelegt. Zur Untersuchung der Produktionsalternativen wurden unterstützende Planungstools der digitalen Fabrik und moderne Methoden aus der Fertigung, Qualitätssicherung, Programmierung, PPS sowie Kosten- und Investitionsrechnung angewendet. Zugleich sind auf die Planung abgestimmte alternative Methoden zur PPS und Kostenrechnung sowie Fallunterscheidungen in der Investitionsrechnung getroffen worden. Ein Hauptaugenmerk galt der Entwicklung einer IT-Architektur, darin inbegriffen die verwendeten Planungstools aus der digitalen Fabrik. In der Teilefertigung von H/C Bodengruppen bei Airbus Helicopters sind erstmalig die Planungstools DELMIA DPE und QUEST eingesetzt worden. Insbesondere mit DELMIA QUEST wurde der Materialfluss ausgewählter Entwurfsszenarien im Hubschrauberbau dynamisch geplant. Für die grundlegende Untersuchung der Produktionsalternativen zur (teil-) automatisierten Herstellung von H/C Strukturbauteilen wurde ein Anforderungskatalog mit Merkmalen der Qualität, Kosten, Produktivität und Wirtschaftlichkeit, Flexibilität, Sicherheit und Zuverlässigkeit, Ergonomie etc. erstellt. An Hand dieser Kriterien wurde letztlich auch die Analyse und Bewertung festgemacht. Angefangen beim Teilespektrum der Bodengruppe aus INSTRUKT wurden die Architektur, das Design, Rohmaterialien, Dimensionen, Gewichte, der Lagenaufbau und die Orientierung spezifiziert. Vom „Preliminary Design“ zum „Detail Design“ sind Abweichungen und Änderungen von der Grob- zur Feinplanung gegenübergestellt und analysiert worden.

Die Plan-Ist Abweichung beim Gewicht des Frameworks liegt bei 14%. Eine Analyse der Statik bei Airbus hatte ergeben, dass bezogen auf das gesamte Framework, von Differential- zur Integralbauweise, Gewichtseinsparungen erzielt werden können.

Im Rahmen der Prozessplanung erfolgte die Erstellung, Untersuchung und Analyse von Fertigungskonzepten und Entwurfsszenarien. In der Konzeptphase sind über den „top-down“ Ansatz die Prozesse integrierter (teil-) automatisierter Verfahren abgeleitet und deren Vorgänge über Versuche erprobt worden. Zum Teil wurden bestehende Vorgänge aus vorhandenen Fertigungsplänen entnommen und angewandte Prozesse „bottom-up“ aufgearbeitet. Des Weiteren wurden die Fertigungskonzepte und Szenarien zum Front- und Back-End zunächst mit Hilfe von Simulationsmodellen validiert und darauffolgend über Versuche im Laborbetrieb verifiziert. Im Hinblick auf eine Realisierung sind technisch mögliche Fertigungskonzepte ausgewählt und in Form von Entwurfsszenarien näher analysiert worden. Spezielle Entwurfsszenarien wurden mit der Methode der QFD verglichen. Über das „House of Quality“ wurden die Qualitätsmerkmale mit Blick auf die Kundenanforderungen gewichtet. Dem (teil-) automatisierten Szenario zum Pre-forming im Diaphragma wurden im HoQ die höchsten Wertungen zugesprochen. Es folgte die statische Prozessplanung unter Verwendung von DELMIA DPE. Hierbei sind die Produkt-

strukturen und Stücklisten, Arbeitspläne, Prozessketten und Materialflusspläne entwickelt worden. Materialfluss und Speichervorgänge wurden schließlich über dynamische Simulationsmodelle mit DELMIA QUEST optimiert.

Ausgewertet wurden Produktivitätsfaktoren wie Prozesszeiten, Durchlaufzeit, Ausbringungsmenge und Belegungen unter definierten Programmprämissen für G&F. Über sämtliche Produktivitätsfaktoren hinweg hatte die robotergestützte Preformfertigung zum Front-End am besten abgeschnitten. Dazu sei angemerkt, dass die Preformfertigung gemessen an der Gesamtzeit mit über 50% den größten Anteil ausmacht, und sich nachweislich die Automatisierung positiv auf die Produktivität auswirkt. Bei den weitestgehend automatisierten Back-End Szenarien hat im Hinblick auf die Produktivität, das Handhaben der Frames mit Roboter und Framegreifer gegenüber der manuellen Handhabung Vorteile von nur wenigen Prozenten zu verzeichnen.

Des Weiteren wurden über dynamische Simulationsmodelle ergonomische Prinzipien analysiert. Die Simulationsmodelle hierzu wurden vom DLR-ZLP und der Firma Grenzebach bereitgestellt. Es stellte sich heraus, dass unter definiertem Winkel sämtliche Bearbeitungspunkte mit den Handhabungswerkzeugen der Roboter und Werker gut erreicht werden konnten. Mit Ausnahme des IEK waren keine weiteren Änderungen vorzusehen. Der Induktor war schwenkbar gestaltet. Unter einem Zustellwinkel von 30° konnten sämtliche Härtepunkte gut erreicht werden.

Über die Fabrikplanung wurden die Layout- und Stationspläne der Entwurfsszenarien zunächst in grober 2D Zeichnung und darauffolgend im CAD, in 3D Darstellung, aufbereitet und abgebildet. Ein weiterer Bestandteil der Fabrikplanung war die Ressourcenplanung. In der Grobplanung wurden die benötigten Ressourcen globalen Kategorien zugeordnet und die Ressourcenpläne der jeweiligen Szenarien erstellt. In der Feinplanung wurden die Ressourcen spezifischen Gruppen zugewiesen und im Detail spezifiziert.

Daran angeknüpft waren die Kosten der Front- und Back-End Szenarien untereinander verglichen und deren Wirtschaftlichkeit analysiert worden. An Hand unterschiedlicher Fallbeispiele (A, B und C) wurden zunächst die benötigten Investitionen der Szenarien gegenübergestellt. Über alle Fälle hinweg werden für die Prepregbauweise mit anschließender Montage der Frames zum Framework die geringsten Investitionen benötigt. Auffallend ist, dass die Investitionen im Front-End mit zunehmender Automatisierung ansteigen und je nach Szenario mit zwischen 50-70% für Arbeitssysteme am höchsten liegen. Gleiches gilt auch für die Investitionen der Back-End Szenarien. Ein zusätzlicher Greifer zum Handhaben der Frames erfordert einen höheren Investitionsbedarf. Demgegenüber fallen für die automatisierte Preformfertigung und Integralbauweise des Frameworks zu Sz 1 die niedrigsten HK an. Aufgrund der hohen Investitionen für die Roboterzelle liegen die Stückkosten zu Sz 1 jedoch am höchsten. Im Stückkostenvergleich liegt die herkömmliche Prepreg-/ Differentialbauweise am günstigsten. Über die Planlaufzeit von zehn Jahren, TPZ(40), Lernfaktoren aus T(20), idealisierte Investitionen in Abhängigkeit der Belegungen und Auslastungen aus Fall C, HK aus F und unter realistischen Verkaufspreisannahme zum Framework fällt der KW bei der herkömmlichen Prepregbauweise (Sz 4) am höchsten aus. Bereits nach fünf Jahren amortisiert sich Sz 4. Das beste (teil-) automatisierte Szenario der integralen Fertigung eines Frameworks ist Sz 2. Dieses amortisiert sich zwei Jahre später. Bei einer Kadenz von 570 Frameworks und unter getroffenen IPP-Prämissen wäre Sz 2 gegenüber Sz 4 nach 18 Jahren Produktionslaufzeit wirtschaftlicher.

Nach Analyse der Anforderungsmerkmale und Einzelfaktoren wurden Bewertungsmatrizen für Front- und Back-End mit je 30 ausgewählten Kriterien erstellt. An Hand dieser wurde letztlich auch die Bewertung der Investitionsalternativen zum Framework und der H/C Bodengruppe

festgemacht. Das erstellte Beurteilungsmodell kann damit als Entscheidungsgrundlage zur Bewertung von Produktionsalternativen für sämtliche H/C Strukturbauteile herangezogen werden. Die Bewertungen im Falle der Untersuchung der Einzelfaktoren zum Front- und Back-End wurden mit Hilfe von jeweils fünf Personen unabhängig und eigenständig durchgeführt. Im Ergebnis hat sich von Front- zum Back-End eine bzgl. der Bewertungskategorien (Qualität, Kosten, Produktivität und Wirtschaftlichkeit, Flexibilität, Sicherheit und Zuverlässigkeit, Ergonomie etc.) um nur wenige Prozent abweichend anderweitige Verteilung ergeben. Während die Qualität im Front-End gemittelt 39% entspricht, liegt deren Gewichtung im Back-End im Mittel bei 37%. Demgegenüber wurden Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie Ergonomie in der Bewertungsmatrix zum Back-End jeweils ein Prozentpunkt mehr zugewiesen. Nach der ganzheitlichen Bewertung beim Front-End zu urteilen, hat die herkömmliche Fertigung von Strukturbauteilen mit der Prepregtechnologie in Sz 4 am besten Punkten können. Das nach allen Wertungen beste Front-End Szenario 2 der Integralbauweise integriert die (teil-) automatisierte Preformfertigung der Frames im Diaphragmaverfahren. Aus den untersuchten Back-End Szenarien stellt die Kombination der Arbeitssysteme Roboter, Framework-Greifer, Station zur Bodenschale und Framestation zu Sz 1 die beste Investitionsalternative dar. In Anbetracht der Bewertung ist die Variante 2 zum manuellen Einspannen und Fügen von zwei Frames zugleich präferiert worden. Dies ermöglicht eine bessere Toleranzeinhaltung, spart Zeit und führt letztlich zu geringeren Kosten. Sz 1.2 sollte zukünftig mit anderen Produktionsalternativen und aktuellen Programmen verglichen werden. Zumeist entstehen bei der Integration neuer Arbeitssysteme, vor allem zu Beginn der Produktion, Fehler, welche häufig zu Verzögerungen führen. Um dieses zu vermeiden, sollten die automatisierten Prozesse am geplanten Serienbauteil vollständig erprobt und schrittweise eingeführt werden. Zudem sollte bei allen Beteiligten der Produktion ein einheitliches Verständnis über die Implementierung von neuen Verfahren und automatisierten Prozessen vorherrschen. Demnach sollten Produktionsmitarbeiter künftig mit den Gesetzmäßigkeiten im Umgang automatisierter Maschinen und Anlagen vertraut und auf deren Anwendung geschult werden. Für zukünftige Untersuchungen sei abschließend auf folgende technische Problemstellungen hingewiesen.

1. Zielfunktion der Abrollbewegung mit Reuleaux Dreieck

Bedingt durch die Form des PDA Endeffektors (Reuleaux Dreieck) muss zum Ablegen der Faserlagen bereits auf ebener Fläche eine komplexe Bahnkurve angesteuert werden. Lagenverzerrungen sowie ungleichmäßige Druck- und Temperaturverhältnisse beim robotergestützten P&D sind zu vermeiden. Durch Online Programmierung der Bewegungsbahnen sind zahlreiche Versuche und stetige Bahnkorrekturen erforderlich. Gesucht ist die Zielfunktion der Abrollbewegung mit dem PDA Funktionskopf aus Abbildung 127.

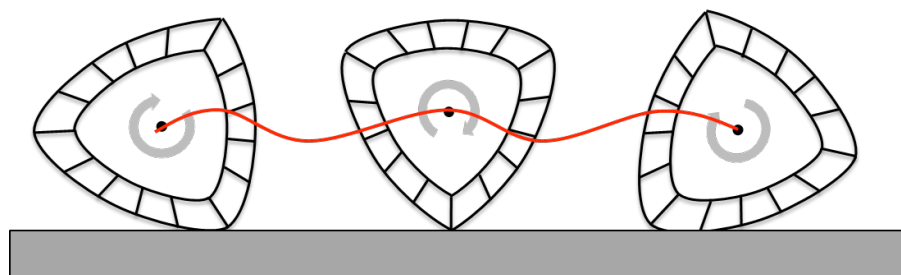


Abbildung 127 – Gesuchte Abrollbewegung des PDA Endeffektors nach [34]

Um die Zahl der Ablegeversuche und Bahnkorrekturen einzuschränken, bietet es sich an, mit Hilfe der Offline Programmierung und einem Approximationsalgorithmus die gesuchte Zielfunktion zu entwickeln und diese in die Robotersteuerung zu implementieren.

2. Der kürzeste Weg beim Induktionshärten

Beim induktiven Aushärten einer montierten Bodengruppe mit Roboter und IEK stellt sich die Frage nach dem „kürzesten Weg (Pfad)“ (engl. „Shortest Path“). Die allgemeine Problemstellung ist auch geläufig unter den Begriffen der „Eulerschen Wanderung“, „Hamiltonischen Rundreise“, als „Labyrinthproblem“ o.a. als „Problem des Handlungsreisenden“. Über eine Lösung zum kürzesten Pfad beim induktiven Härten von Framework und Bodenschale können Zeiteinsparungen beim groben Positionieren des IEK mit Roboter erzielt werden. Zur Berechnung des kürzesten Weges für eine Vielzahl von Knotenpunkten haben bereits zahlreiche Wissenschaftler exakte Lösungsverfahren und Heuristiken erforscht. Die Berechnung für eine Vielzahl an Punkten ist zumeist mit einem hohen Rechenaufwand verbunden. Eine optimierte Lösung für die Berechnung des kürzesten Weges formulierte der berühmteste niederländische Informatiker Edsger W. Dijkstra (1930-2002) mit dem nach ihm benannten Dijkstra-Algorithmus. Dieser zählt zu den Greedy-Algorithmen, bei denen einmal festgelegte Distanzen zum Startknoten nicht mehr verändert werden. Im Fallbeispiel zum induktiven Härten von Framework und Bodenschale ergeben sich aufgrund der symmetrischen Form des Frameworks $(n-1)!/2$ mögliche Wege. Wobei n der Zahl der Knoten, in diesem Fall der Zahl der Härtepunkte entspricht. Abbildung 128 zeigt die möglichen Kombinationen an Wegstrecken am Fallbeispiel des Frameworks. Der mit dem Greedy Algorithmus berechnete kürzeste Weg zum punktuellen Aushärten von 17 definierten Härtepunkten an Framework und Bodenschale ist in Abbildung 129 veranschaulicht.

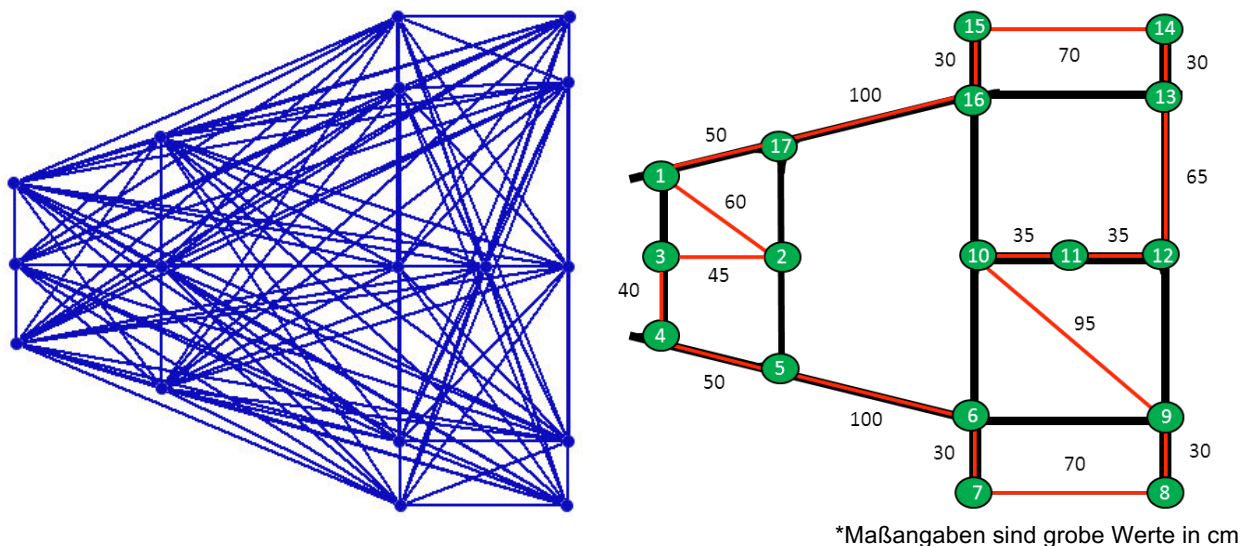


Abbildung 128, 129 – Mögliche Wege (Abb. links) und kürzester Weg (Abb. rechts) zum Aushärten von 17 Härtepunkten

Die Strecke des gesuchten Weges liegt bei rund 935 cm. Zur Bestimmung des kürzesten Weges beim robotergestützten Induktionshärten empfiehlt sich somit der Greedy Algorithmus.

3. Robotergestützte Vermessung von Fugesubstraten und Fugespaltmaßen

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Q-Inline Oberflächenprüfung hat gezeigt, dass eine Fugespaltmessung garantiert, jedoch mit hohem Aufwand zur Einstellung und Positionierung der Messapparatur verbunden ist. Eine Maßnahme, den manuellen Zeitanteil zum Aufbau sowie Ein- und Ausrichten der Messapparatur (ATOS II von GOM) zu verkürzen, ließe sich durch eine vollständig automatisierte Qualitätsprüfung erzielen. Die Vermessung der Fugesubstrate und Fugespaltmaße sollte dazu robotergestützt im Flug (engl. on-the-fly) erprobt werden (siehe Abbildung 130).

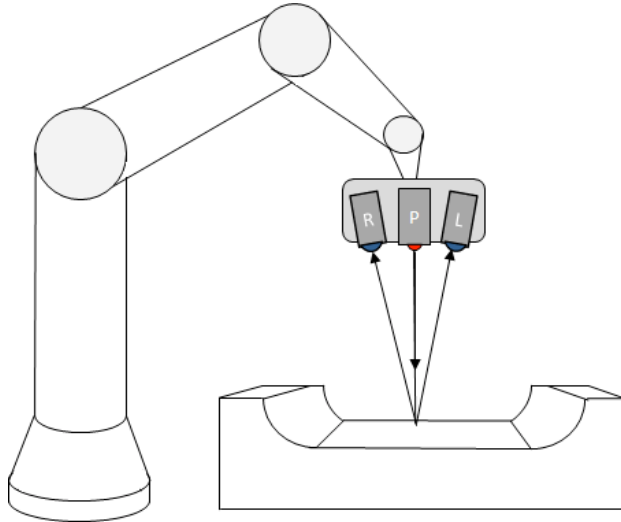


Abbildung 130 – Robotergestützte Vermessung von Fugesubstraten

Für die Anbindung der Messapparatur muss ein roboter- und werkzeugseitig abgestimmtes Werkzeugwechselsystem eingerichtet werden. Dazu benötigt werden Anschlüsse zur Versorgung von Energie und Informationsfluss. Das Aus- und Einrichten der Gelenkachsen und der Positionen des Arbeitssystems Roboter kann zur Vermessung der Montageteile einer H/C Bodengruppe wahlweise mit einem HPG oder über einen Leitreechner geteacht werden. Neben den Anforderungen an Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Flexibilität ist die Erreichbarkeit aller Fügezonen durch die fliegende Messung mit Roboter zu gewährleisten.

Anhang

A Versuchs- und Prüfplan

- A1 VPP – Pick & Drape
- A2 VPP – Single Diaphragma
- A3 VPP – Montage Frames & Q-Inline Messung
- A4 VPP – Montage INSTRUKT Bodengruppe

B Produktstrukturen

- B1 Produktstrukturen – INSTRUKT Bodengruppe
- B2 Produktstrukturen – INSTRUKT Framework - Grobplanung
- B3 Produktstrukturen – INSTRUKT Framework - Feinplanung

C Rohmaterialien

D Produktdaten

- D1 Produktdaten – INSTRUKT Framework - Grobplanung
- D2 Produktdaten – INSTRUKT Framework - Feinplanung

E Transportmatrizen

F M-Pläne

- F1 M-Plan – Front-End Szenario 1
- F2 M-Plan – Front-End Szenario 2
- F3 M-Plan – Front-End Szenario 3
- F4 M-Plan – Front-End Szenario 4
- F5 M-Plan – Back-End Szenarien

G Prozessketten

- G1 Prozesskette – Front-End Szenario 1
- G2 Prozesskette – Front-End Szenario 2
- G3 Prozesskette – Front-End Szenario 3
- G4 Prozesskette – Front-End Szenario 4
- G5 Prozesskette – Back-End Szenario 1&2
- G6 Prozesskette – Back-End Szenario 2

H F-Pläne

- H1 F-Plan – Front-End Szenario 1
- H2 F-Plan – Front-End Szenario 2
- H3 F-Plan – Front-End Szenario 3
- H4 F-Plan – Front-End Szenario 4
- H5 F-Plan – Back-End Szenario 1.1
- H6 F-Plan – Back-End Szenario 1.2
- H7 F-Plan – Back-End Szenario 2

I	Simulationssequenzen
I1	Simulationssequenzen – Front-End Szenarien
I2	Simulationssequenzen – Back-End Szenarien
J	Formeln
J1	Formeln – Front-End
J2	Formeln – Back-End
K	Prozesszeitanteile
L	Belegungen
L1	Belegungen – Front-End Szenario 1
L2	Belegungen – Front-End Szenario 2
L3	Belegungen – Front-End Szenario 3
L4	Belegungen – Front-End Szenario 4
L5	Belegungen – Back-End Szenario 1.1
L6	Belegungen – Back-End Szenario 1.2
L7	Belegungen – Back-End Szenario 2
L8	Belegungen – Speicher
M	Layoutpläne
M1	Layoutpläne – Front-End Szenarien - Grobplanung
M2	Layoutpläne – Front-End Szenarien - Feinplanung
N	R-Pläne
N1	R-Plan – Front-End Szenarien
N2	R-Plan – Back-End Szenarien
O	Ressourcen
O1	Ressourcen – Arbeitssysteme
O2	Ressourcen – Formwerkzeuge
O3	Ressourcen – Material- & Bauteilspeicher
O4	Ressourcen – Arbeits- & Drapiertische
O5	Ressourcen – Werkzeugwechselsysteme
O6	Ressourcen – Versorgungssysteme
O7	Ressourcen – Transportmittel
O8	Ressourcen – Messsysteme
O9	Ressourcen – Gebäudeflächen
P	Investitionsvolumina
Q	Bewertungsmodelle
Q1	Bewertungsmodell – Front-End
Q2	Bewertungsmodell – Back-End

A1 VPP – Pick & Drape

KURZBESCHREIBUNG	Zeitmessung zum Pick & Drape Prozess mit Roboter & PDA Funktionskopf		
PROJEKT	Instrukt – AP4300		
PSP-ELEMENT			
PROJEKTHINTERGRUND	AP4300 – Prozesskette Herstellung Framework		
<input checked="" type="checkbox"/> R & D <input type="checkbox"/> Engineering <input type="checkbox"/> Industrialisierung <input type="checkbox"/> Serie			
<input type="checkbox"/> Machbarkeitsstudie <input checked="" type="checkbox"/> Technologie <input type="checkbox"/> fliegendes Gerät			
ZIEL	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitmessung: Prozessschritte Pick & Drape • Aufnahme: Erstellung Preforms mit Video und Photo 		
ZEITPLAN	Test Durchführung bis zum 29.05.2013		
VORGEHENSWEISE	Test #1: Pick & Drape von 2 Lagen (2500x400mm) [90°/0°//0°/90°] Test #2: Pick & Drape von 2 Lagen (2500x30mm) [90°/0°//0°/90°]		
ZU VERWENDENDE UNTERLAGEN	BAUUNTERLAGEN	Test Instruktionen Outputs: Excel Datei, Photos und Film	
	FERTIGUNGSANWEISUNGEN	Siehe Test Instruktionen	
	MATERIALIEN	Kohlefaserlagen mit Binder: <ul style="list-style-type: none"> • [0°/90°]: 1 Lage 2500x400mm • [90°/0°]: 1 Lage 2500x400mm • [0°/90°]: 1 Lage 2500x30mm • [90°/0°]: 1 Lage 2500x30mm 	
	TEST EINRICHTUNG UND TOOLINGS	Roboterzelle INSTRUKT inkl.: <ul style="list-style-type: none"> - Roboter KR210 R3100 - PDA Funktionskopf - Tooling Longeron LH, C-Profil Instrument zur Zeitaufnahme Kamera (Film und Photo),	

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

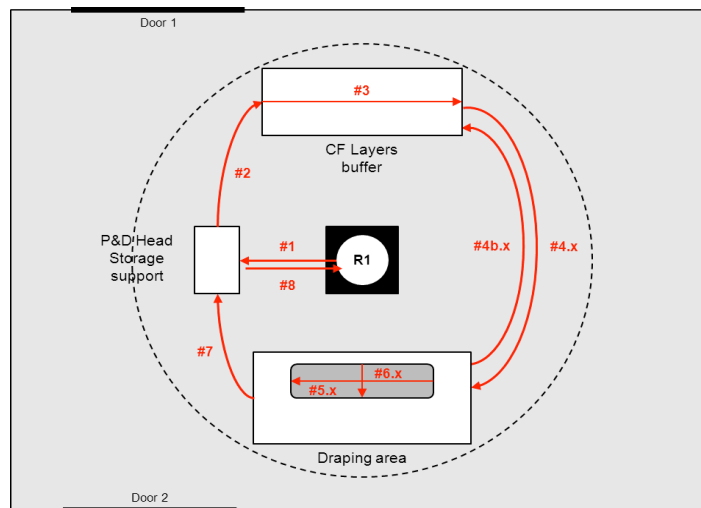
Test Instruktionen “Pick & Drape”

1. Vorbereitung der Proben

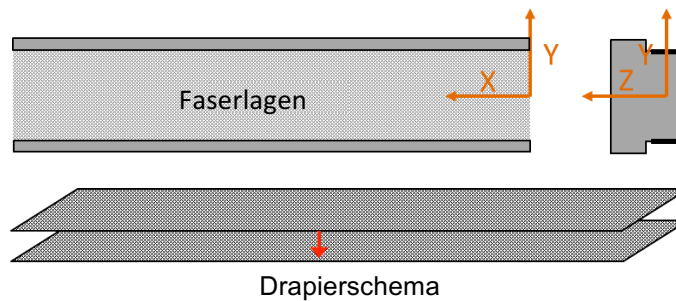
Kohlefaserlagen

- Testprobe 1:
 - $[0^\circ/90^\circ]$ 2500x400mm
 - $[90^\circ/0^\circ]$ 2500x400mm
- Testprobe 2:
 - $[0^\circ/90^\circ]$ 2500x30mm
 - $[90^\circ/0^\circ]$ 2500x30mm

2. “Pick & Drape” Prozess



P&D Roboterzelle und Prozessablauf



Drapierschema

Prozessschritte – Pick & Drape mit Roboter

- Schritt #0: Initialisierung
- Schritt #1: Aufnahme PDA Funktionskopf
- Schritt #2: Bewege Funktionskopf zum Speicher der Faserlagen
- Schritt #3: Aufnahme Faserlage
- Schritt #4: Bewege PDA zum Drapiertool (Longeron LH)
- Schritt #4b: Bewege PDA zum Speicher Kohlefaserlagen
- Schritt #5: Drapieren in x -Richtung
- Schritt #6: Drapieren in z-Richtung
- Schritt #7: Ablage Drapierkopf
- Schritt #8: Anfahren Grundstellung

Anmerkung:

Prozessschritte 1-8 sind für jeden Testkörper durchzuführen.

Die Schleife der Prozessschritte 2-6 sind zum Aufnehmen und Ablegen für jede Einzellage gedacht.

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

<p>3. <u>Test Aufbau</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Speichern Kohlefaserlagen auf dem Arbeitstisch innerhalb der Roboterzelle; - Einrichten der Kamera mit Sicht auf den Pick & Drape Prozess (Sorge dafür, dass die Drapiervorrichtung C-Profil Longeron LH im Vordergrund steht!) - Bereitstellen der Excel Datei zur Zeitaufnahme; - Initialisierung des Pick & Drape Prozesses
<p>4. <u>Test-Start Prozedur</u></p> <p>Starte gleichzeitig den Pick & Drape Prozess sowie die Zeitaufnahme</p>
<p>5. <u>Zeitaufnahme</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Fahre fort mit der Zeitaufnahme über MS Excel. Zeitaufnahme kann mit dem Excel Macro (Ctrl + T) durchgeführt werden.
<p>6. <u>Aufnahme Photos</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufnahme von Preforms einschließlich auftretender Fehler (falls vorhanden)
<p>7. <u>Test Abschluss</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausfüllen der Excel Datei inkl. Kommentare; - Speichern der Testdaten (Photos, Film, Excel Datei) und ablegen im Dateiordner: INSTRUKT/4000Prozesskette/AP4300/PickandDrape/Zeitmessungen

A2 VPP – Single Diaphragma

KURZBESCHREIBUNG	Zeitmessung zum Single Diaphragma Prozess		
PROJEKT	Instrukt – AP4300		
PSP-ELEMENT			
PROJEKTHINTERGRUND	AP4300 – Prozesskette Herstellung Framework		
<input checked="" type="checkbox"/> R & D <input type="checkbox"/> Machbarkeitsstudie <input checked="" type="checkbox"/> Technologie <input type="checkbox"/> fliegendes Gerät	<input type="checkbox"/> Engineering		<input type="checkbox"/> Serie
ZIEL	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitmessung: Prozessschritte Single Diaphragma • Aufnahme: Erstellung Preforms mit Video und Photo 		
ZEITPLAN	Test Durchführung 02.07.2013		
VORGEHENSWEISE	Test #1: Preforming von 2 Lagen (2500x400mm) [90°/0°//0°/90°] Test #2: Preforming von 4 Lagen (2500x400mm) [0°/90°//90°/0°//0°/90°//90°/0°]		
ZU VERWENDENDE UNTERLAGEN	BAUUNTERLAGEN	Test Instruktionen Outputs: Excel Datei, Photos und Film	
	FERTIGUNGSANWEISUNGEN	Siehe Test Instruktionen	
	MATERIALIEN	Kohlefaserlagen mit Binder: <ul style="list-style-type: none"> • [0°/90°]: 3 Lagen 2500x400mm • [90°/0°]: 3 Lagen 2500x400mm 	
	TEST EINRICHTUNG UND TOOLINGS	Single Diaphragma Anlage: <ul style="list-style-type: none"> - Diaphragmahaube - Heiztisch Tooling Longeron LH, C-Profil Instrument zur Zeitaufnahme Kamera (Film und Photo)	

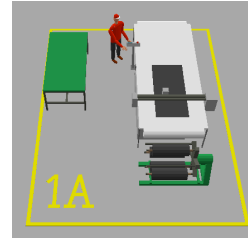
Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Test Instruktionen “Single Diaphragma”

1. Vorbereitung der Proben

Kohlefaserlagen:

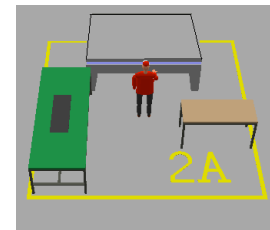
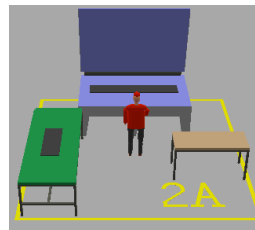
- Testprobe 1:
 - o [0°/90°] 2500x400mm
 - o [90°/0°] 2500x400mm
- Testprobe 2:
 - o 2 x [0°/90°] 2500x400mm
 - o 2 x [90°/0°] 2500x400mm



2. Single Diaphragma Prozess

Prozessschritte – Single Diaphragma

- Step #1: Testprobe ablegen
- Step #2: Vakuumaufbau
- Step #3: Aufheizen
- Step #4: Halten
- Step #5: Abkühlen
- Step #6: Preform Entformen



Bemerkung:

Prozessschritte 1-6 sind für jeden Testkörper durchzuführen.

Kompaktierung: Test #1: 2 Lagen; Test #2: 4 Lagen.

3. Test Aufbau

- Speichern Kohlefaserlagen auf dem Arbeitstisch unmittelbar neben der Diaphragmaanlage;
- Einrichten der Kamera mit Sicht auf den Single Diaphragma Prozess
(Sorge dafür, dass die Drapiervorrichtung C-Profil Longeron LH im Vordergrund steht!)
- Bereitstellen der Excel Datei zur Zeitaufnahme;
- Initialisierung des Single Diaphragma Prozesses

4. Test Start Prozedur

Starte gleichzeitig den Diaphragma Prozess sowie die Zeitaufnahme

5. Zeitaufnahme

- Fahre fort mit der Zeitaufnahme mit MS Excel.
Zeitaufnahme kann mit dem Excel Macro (Ctrl + T) durchgeführt werden.

6. Aufnahme Photos

Aufnahme von Preforms einschließlich auftretender Fehler (falls vorhanden)

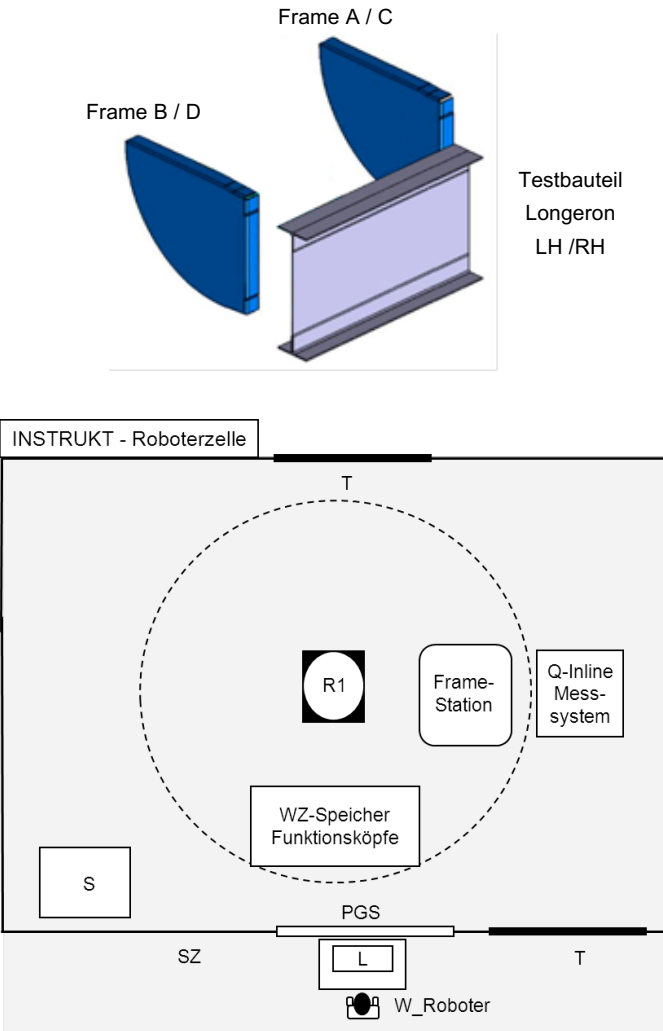
7. Test Abschluss

- Ausfüllen der Excel Datei inkl. Kommentare;
- Speichern der Testdaten (Photos, Film, Excel Datei) und ablegen im Dateiordner:
INSTRUKT/4000Prozesskette/AP4300/Single_Diaphragma/Zeitmessungen

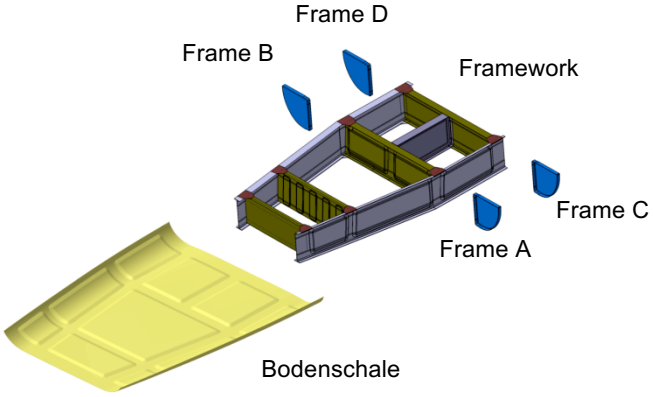
A3 VPP – Montage Frames & Q-Inline Messung

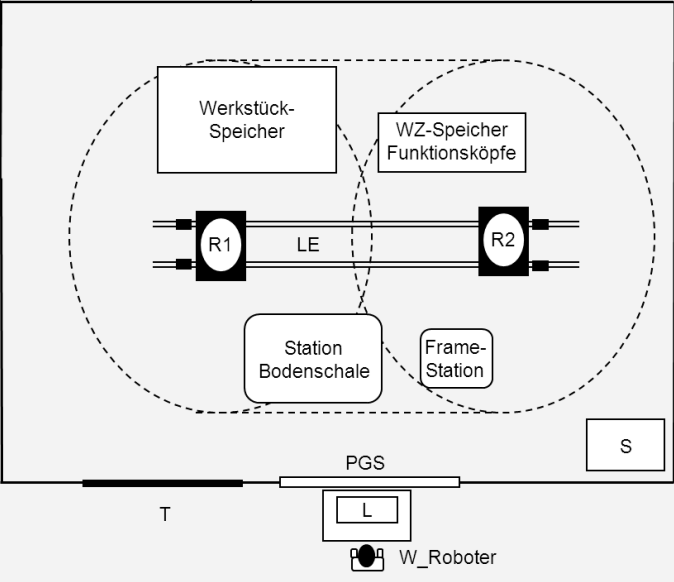
KURZBESCHREIBUNG	Q-Inline Messung von Fügespaltmaßen der Montageanbindung Frames und Longérons aus INSTRUKT		
PROJEKT	Instrukt – AP4500		
PSP-ELEMENT	AP4590		
PROJEKTHINTERGRUND	AP4500 – Prozesskette Montage H/C Bodengruppe		
<input checked="" type="checkbox"/> R & D <input type="checkbox"/> Machbarkeitsstudie <input checked="" type="checkbox"/> Technologie <input type="checkbox"/> fliegendes Gerät			
	<input type="checkbox"/> Engineering	<input type="checkbox"/> Industrialisierung	<input type="checkbox"/> Serie
ZIEL	<ul style="list-style-type: none"> Integration der Oberflächenmesstechnik des GOM-Messinstrumentes in die INSTRUKT Roboterzelle am LMP in Donauwörth Aufnahme von Fügespaltmaßen bei der Montage der Testbauteile Frames und Testkomponente zum Longeron LH Ermittlung der Abweichungen 		
ZEITPLAN	Test Durchführung 25.09.2013		
VORGEHENSWEISE	<ul style="list-style-type: none"> - Aufstellung und Kalibrierung der GOM-Messapparatur zur Fügespaltmessung in der INSTRUKT Roboterzelle - Aufstellung von Vorrichtungen zur Einspannung der Testbauteile Frames und der Testkomponente zum Longeron LH - Einspannen und Justieren der Testkomponenten - Aufnahme der Fügespaltmasse - Auftragen von Shimmstoff - Fügen der Testbauteile - Aushärten des Shimmstoff - Messung der Fügespaltmaße - Abgleich und Analyse der Messwerte <p>Bemerkung: <i>Zu jedem Testvorgang sind Photos und Messwerte aufzunehmen.</i></p>		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

<p>ZU VERWENDEDE UNTERLAGEN</p>	<p>BAUUNTERLAGEN</p>	
	<p>FERTIGUNGS- ANWEISUNGen</p>	<p>Siehe Vorgehensweise</p>
	<p>MATERIALIEN / BAUTEILE</p>	<p>Test-Montageteile INSTRUKT:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Testbauteil Longeron LH / RH : 545x375x80 mm • Frame A, C (INST533M6130101): 370x349x35 mm • Frame B, D (INST533M6140101): 370x349x35 mm
	<p>TEST EINRICHTUNG UND TOOLINGS</p>	<p>Roboterzelle INSTRUKT inkl.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Roboter KR210 R3100 - ADP - Plasmakopf - KAK - Klebekopf - Frame-/ Messstation <p>GOM-Messsystem Kamera (Film und Photo),</p>

A4 VPP – Montage INSTRUKT Bodengruppe

KURZBESCHREIBUNG	Zeitmessung zur Montage der INSTRUKT Bodengruppe		
PROJEKT	Instrukt – AP4500		
PSP-ELEMENT			
PROJEKTHINTERGRUND	AP4500 – Prozesskette Montage INSTRUKT Bodengruppe		
<input checked="" type="checkbox"/> R & D <input type="checkbox"/> Machbarkeitsstudie <input checked="" type="checkbox"/> Technologie <input type="checkbox"/> fliegendes Gerät	<input type="checkbox"/> Engineering	<input type="checkbox"/> Industrialisierung	<input type="checkbox"/> Serie
ZIEL	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitmessung: Prozessschritte zur Montage INSTRUKT Bodengruppe • Aufnahme: Video und Photo 		
ZEITPLAN	Test Durchführung im Zeitraum 11-12.12.2013		
VORGEHENSWEISE	Siehe Test Instruktionen “Montage INSTRUKT Bodengruppe”		
ZU VERWENDENDE UNTERLAGEN	BAUUNTERLAGEN	 <p>Montageteile zur INSTRUKT Bodengruppe</p>	

		<div style="display: flex; justify-content: space-between; border-bottom: 1px solid black; padding-bottom: 5px;"> Roboterzelle – DLR-ZLP SZ </div> 
	FERTIGUNGS-ANWEISUNGEN	Siehe Test-Instruktionen: “Montage INSTRUKT Bodengruppe“
	MATERIALIEN / BAUTEILE	Montageteile INSTRUKT: <ul style="list-style-type: none"> • Framework (INST533M6000051): 2400x1330x375 mm • Bodenschale (HEL533M6230051): 2400x2000x335 mm • Frame A, C (INST533M6130101): 370x349x35 mm • Frame B, D (INST533M6140101): 370x349x35 mm
	TEST EINRICHTUNG UND TOOLINGS	Roboterzelle DLR-ZLP Augsburg: <ul style="list-style-type: none"> - 2 x Roboter mit Linearachse inkl. Steuerung - Klebeapplikationskopf (Fa. ECD) - Induktionskopf (Fa. ECD) - Greifer für Framework - Tooling für Frames und Bodenschale - Instrument zur Zeitaufnahme Kamera (Film und Photo),
Test Instruktionen “Montage INSTRUKT Bodengruppe ”		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Vorbereitung zum Probelauf <ul style="list-style-type: none"> • Bestellung von Klebekartuschen zum Shimmstoffauftrag mit Klebeapplikationskopf • Transport der INSTRUKT Montageteile Frames, Framework und Bodenschale von ECD in Donauwörth zum DLR-ZLP nach Augsburg • Transport der Funktionsköpfe zum Kleben und Induktionshärten von ECD in Donauwörth zum DLR-ZLP nach Augsburg • Einrichten und Aufbau der Roboterzelle am DLR-ZLP gemäß Bauunterlagen • Roboterprogrammierung der automatisierten Arbeitsprozesse / Prozesskette INSTRUKT Montage 		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

2. Prozesse / Prozesskette INSTRUKT Montage

Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan (F-Plan)	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
				manuell [min]	masch [min]
0100	Montagevorbehandlung Frame A + C + Framework	010	Entnehmen + Positionieren Frame A + C		
		015	Einlegen Klebekartuschen		
		020	Startbefehl-1 geben		
		025	Einspannen Frame A		
		030	Aufnehmen Framework		
0200	Montage Kleben/Fügen/Aushärten Frame A + C + Framework	010	Werkzeugwechsel-1 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
		015	Kleben Frame A + C + Framework II Halten R1		
		020	Fügen Frame A + C + Framework II Halten R2		
		030	Werkzeugwechsel-1 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
		035	Induktionshärten Frame A + C + Framework II Halten R1		
		050	Lösen Framework A, C II Halten R1+ R2		
		070	Rotieren Framework A, C auf neue Position II Halten R2		
		080	Stopbefehl-1 geben II Halten R1 + R2		
0300	Montagevorbehandlung Frame B + D	010	Entnehmen + Positionieren Frame B + D II Halten R1 + R2		
		020	Startbefehl-2 geben II Halten R1 + R2		
		025	Einspannen Frame B + D II Halten R1 + R2		
0400	Montage Kleben/Fügen/Aushärten Frame B + D + Framework	010	Werkzeugwechsel-2 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
		015	Kleben Frame B + D + Framework A, C II Halten R1		
		020	Fügen Frame B + D + Framework A, C II Halten R2		
		030	Werkzeugwechsel-2 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
		035	Induktionshärten Frame B + D + Framework A, C II Halten		
		050	Lösen Framework A-D II Halten R1 + R2		
		070	Bewegen Framework A-D auf neue Pose II Halten R2		
		080	Stopbefehl-2 geben II Halten R1 + R2		
0500	Montagevorbehandlung montiertes Framework + Bodenschale	010	Entnehmen + Positionieren Bodenschale II Halten R1 + R2		
		015	Austausch Klebekartuschen II Halten R1 + R2		
		020	Startbefehl-3 geben II Halten R1 + R2		
		025	Einspannen Bodenschale II Halten R1 + R2		
0600	Montage Kleben/Fügen/Aushärten mont. Framework + Bodenschale	010	Werkzeugwechsel-3 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
		020	Kleben Framework A-D + Bodenschale II Halten R1		
		030	Fügen Framework A-D + Bodenschale II Halten R2		
		035	Lösen Greifer-Framework II Halten R2		
		040	Werkzeugwechsel-3 Induktionskopf (IEK)		
		050	Induktionshärten Framework A-D + Bodenschale		
		055	Ablegen Induktionskopf (IEK)		
		060	Lösen Bodengruppe		
		065	Aufnehmen Greifer-Framework		
		070	Stopbefehl-3 geben II Halten R1		
		080	Entladen Klebekartuschen		

3. Test Aufbau

- Speichern der Montageteile in der Roboterzelle am DLR-ZLP in Augsburg
- Einrichten der Kamera mit Sicht auf die Montageprozesse
- Bereitstellen der Excel Datei zur Zeitaufnahme
- Initialisierung der Prozesse zur Montage der INSTRUKT Bodengruppe

4. Test-Start Prozedur

Starte gleichzeitig die Prozesse zur INSTRUKT Montage sowie die Zeitaufnahme

5. Zeitaufnahme

- Fahre fort mit der Zeitaufnahme mit MS Excel.
[Zeitaufnahme kann mit dem Excel Macro (Ctrl + T) durchgeführt werden.]

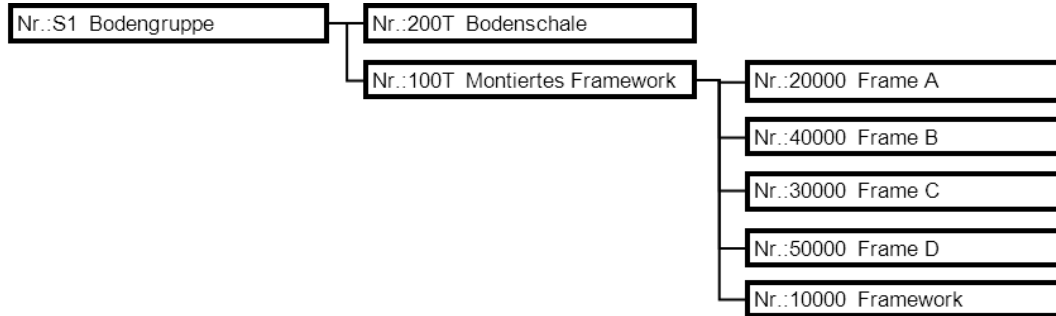
6. Aufnahme Photos

- Aufnahme von Montageschritten einschließlich auftretender Fehler (falls vorhanden)

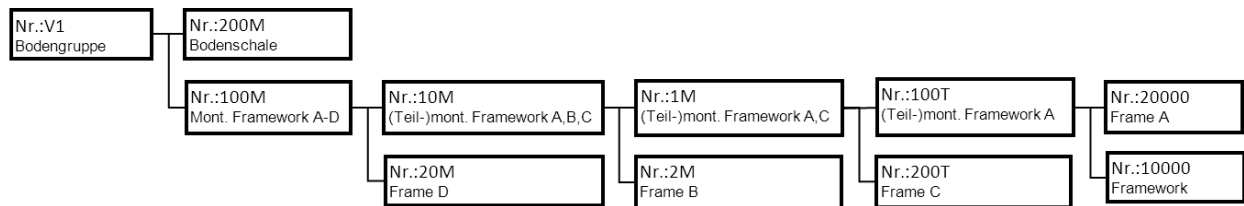
7. Test Abschluss

- Transport INSTRUKT Bodengruppe und ECD Funktionsköpfe nach Donauwörth
- Ausfüllen der Excel Datei inkl. Kommentare;
- Speichern der Testdaten (Photos, Film, Excel Datei) im Dateiordner:
INSTRUKT/4000Prozesskette/AP4500

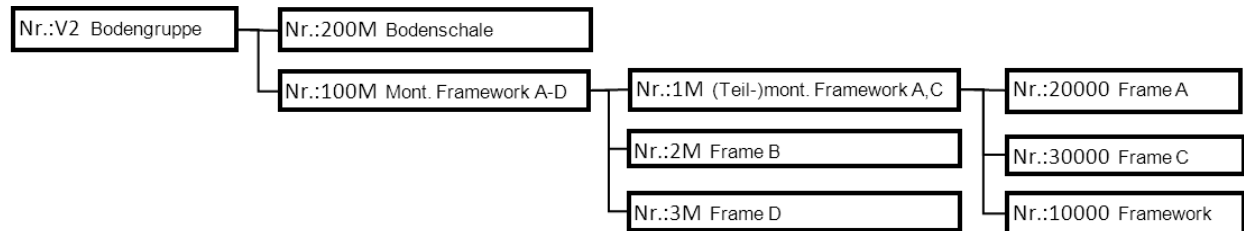
B1 Produktstrukturen – INSTRUKT Bodengruppe



Produktstrukturbaum der Grobplanung zum Back-End,
Ebene 1: Bodengruppe, Ebene 2: Unterbaugruppen, Ebene 3: Montageteile

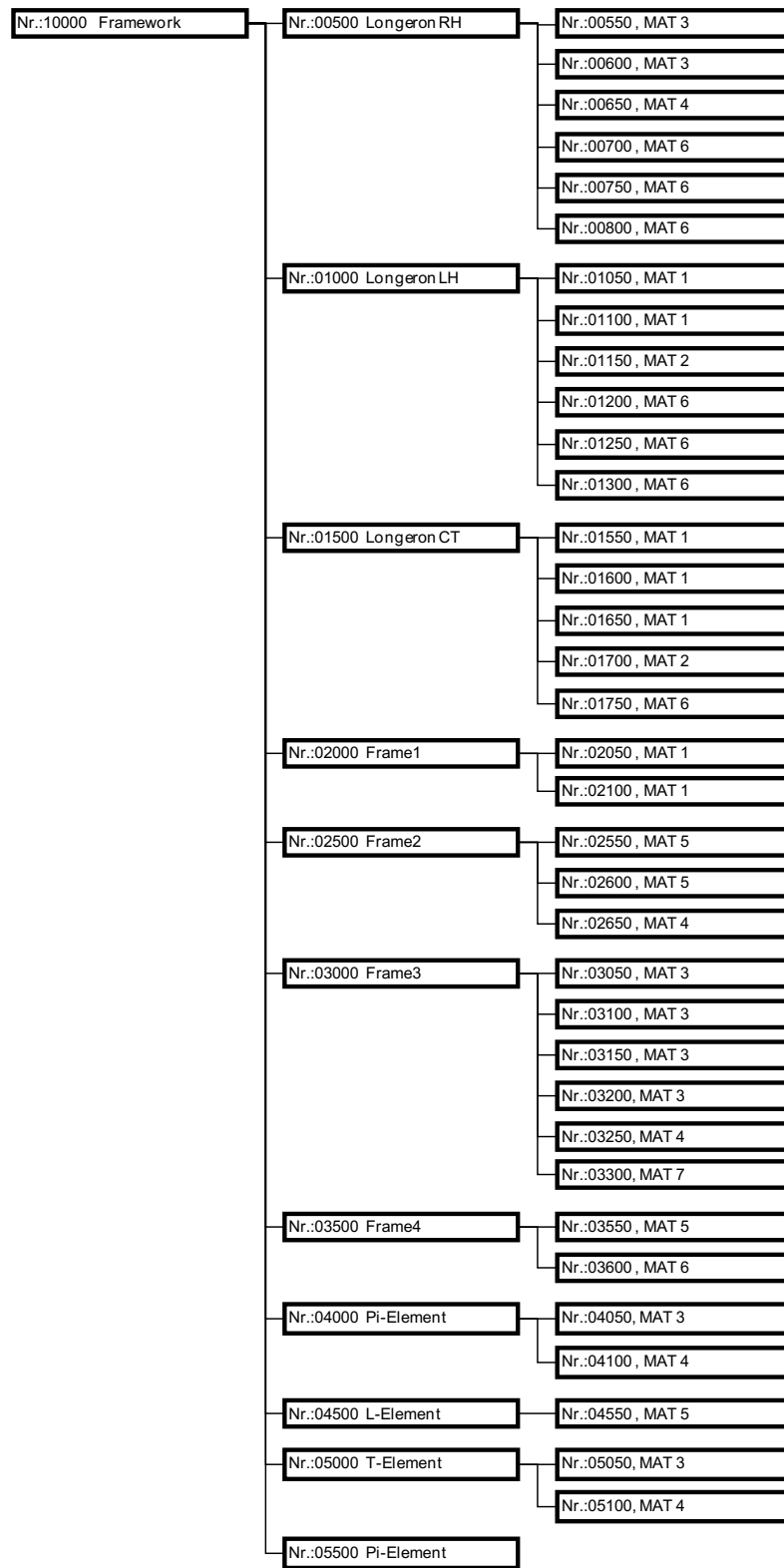


Produktstrukturbaum von Variante 1 der Feinplanung zum Back-End,
Ebene 1: Bodengruppe, Ebene 2-6: Unterbaugruppen und Montageteile



Produktstrukturbaum von Variante 2 der Feinplanung zum Back-End,
Ebene 1: Bodengruppe, Ebene 2-4: Unterbaugruppen und Montageteile

B2 Produktstruktur – INSTRUKT Framework - Grobplanung



Produktstrukturbaum zum INSTRUKT Framework,
Ebene 1: Framework, Ebene 2: Preforms, Ebene 3: Lagenpakete, Einzellagen und Kernsysteme

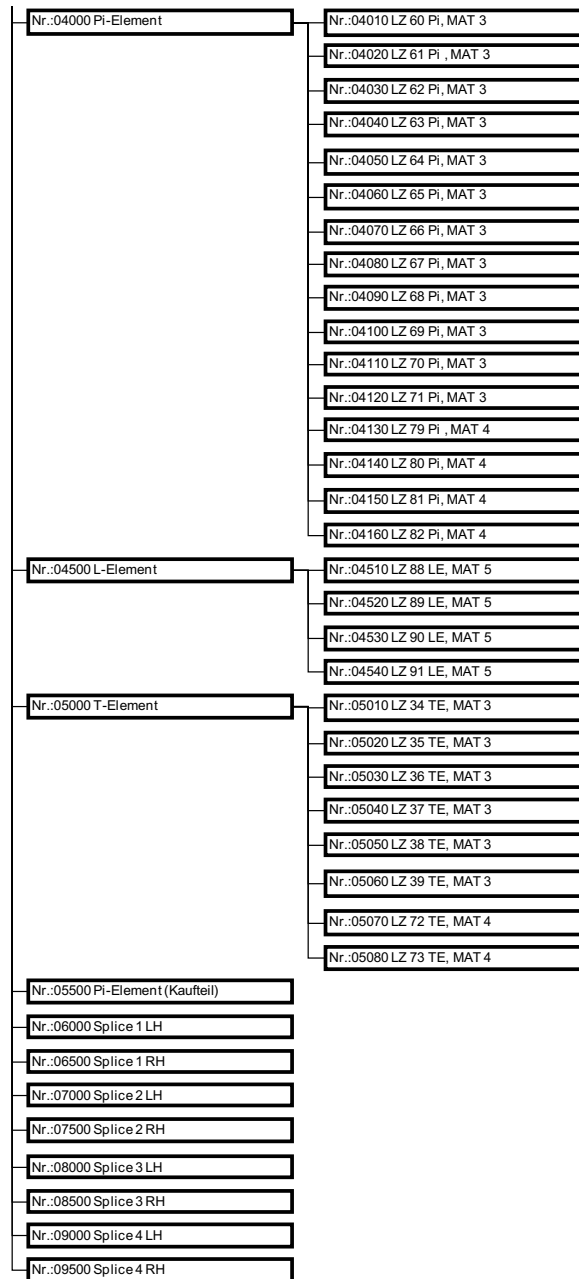
B3 Produktstrukturen – INSTRUKT Framework - Feinplanung

Nr.:10000 Framework	Nr.:00500 Longeron RH	Nr.:00510 LZ 50 RH, MAT 3
		Nr.:00520 LZ 51 RH, MAT 3
		Nr.:00530 LZ 52 RH, MAT 3
		Nr.:00540 LZ 53 RH, MAT 3
		Nr.:00550 LZ 54 RH, MAT 3
		Nr.:00560 LZ 55 RH, MAT 3
		Nr.:00570 LZ 56 RH, MAT 3
		Nr.:00580 LZ 57 RH, MAT 3
		Nr.:00590 LZ 58 RH, MAT 3
		Nr.:00600 LZ 59 RH, MAT 3
		Nr.:00610 LZ 77 RH, MAT 4
		Nr.:00620 LZ 78 RH, MAT 4
		Nr.:00630 LZ 96 RH, MAT 6
		Nr.:00640 LZ 97 RH, MAT 6
		Nr.:00650 LZ 98 RH, MAT 6
	Nr.:01000 Longeron LH	Nr.:01010 LZ 06 LH, MAT 1
		Nr.:01020 LZ 07 LH, MAT 1
		Nr.:01030 LZ 08 LH, MAT 1
		Nr.:01040 LZ 09 LH, MAT 1
		Nr.:01050 LZ 10 LH, MAT 1
		Nr.:01060 LZ 11 LH, MAT 1
		Nr.:01070 LZ 12 LH, MAT 1
		Nr.:01080 LZ 13 LH, MAT 1
		Nr.:01090 LZ 14 LH, MAT 1
		Nr.:01100 LZ 15 LH, MAT 1
		Nr.:01110 LZ 16 LH, MAT 1
		Nr.:01120 LZ 28 LH, MAT 2
		Nr.:01130 LZ 29 LH, MAT 2
		Nr.:01140 LZ 96 LH, MAT 6
		Nr.:01150 LZ 97 LH, MAT 6
		Nr.:01160 LZ 98 LH, MAT 6
	Nr.:01500 Longeron CT	Nr.:01510 LZ 17 CT, MAT 1
		Nr.:01520 LZ 18 CT, MAT 1
		Nr.:01530 LZ 19 CT, MAT 1
		Nr.:01540 LZ 20 CT, MAT 1
		Nr.:01550 LZ 21 CT, MAT 1
		Nr.:01560 LZ 22 CT, MAT 1
		Nr.:01570 LZ 23 CT, MAT 1
		Nr.:01580 LZ 24 CT, MAT 1
		Nr.:01590 LZ 25 CT, MAT 1
		Nr.:01600 LZ 26 CT, MAT 1
		Nr.:01610 LZ 27 CT, MAT 1
		Nr.:01620 LZ 30 CT, MAT 2
		Nr.:01630 LZ 31 CT, MAT 2
		Nr.:01640 LZ 32 CT, MAT 2
		Nr.:01650 LZ 33 CT, MAT 2
		Nr.:01660 LZ 99 CT, MAT 6

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Nr.:02000 Frame 1	Nr.:02010 LZ 01 F1, MAT 1
	Nr.:02020 LZ 02 F1, MAT 1
	Nr.:02030 LZ 03 F1, MAT 1
	Nr.:02040 LZ 04 F1, MAT 1
	Nr.:02050 LZ 05 F1, MAT 1
Nr.:02500 Frame 2	Nr.:02510 LZ 74 F2, MAT 4
	Nr.:02520 LZ 83 F2, MAT 5
	Nr.:02530 LZ 84 F2, MAT 5
	Nr.:02540 LZ 85 F2, MAT 5
	Nr.:02550 LZ 86 F2, MAT 5
	Nr.:02560 LZ 87 F2, MAT 5
Nr.:03000 Frame 3	Nr.:03010 LZ 40 F3, MAT 3
	Nr.:03020 LZ 41 F3, MAT 3
	Nr.:03030 LZ 42 F3, MAT 3
	Nr.:03040 LZ 43 F3, MAT 3
	Nr.:03050 LZ 44 F3, MAT 3
	Nr.:03060 LZ 45 F3, MAT 3
	Nr.:03070 LZ 46 F, MAT 3
	Nr.:03080 LZ 47 F3, MAT 3
	Nr.:03090 LZ 48 F3, MAT 3
	Nr.:03100 LZ 49 F3, MAT 3
	Nr.:03110 LZ 75 F3, MAT 4
	Nr.:03120 LZ 76 F3, MAT 4
	Nr.:03130 LZ 94 F3, MAT 7
Nr.:03500 Frame 4	Nr.:03510 LZ 92 F4, MAT 5
	Nr.:03520 LZ 93 F4, MAT 5
	Nr.:03530 LZ 95 F4, MAT 6

Fortsetzung auf der nächsten Seite.



Produktstrukturbaum zum INSTRUKT Framework,
Ebene 1: Framework, Ebene 2: Preforms, Ebene 3: Lagenpakete, Einzellagen und Kernsysteme

C Rohmaterialien

Material Bezeichnung	Materialtyp	Bindung	Masse [g/m²]	Dicke [mm]
MAT 1	HS 6K	Gewebe, 2/2 Hexcel	300	0,29
MAT 2	HTA 5131 400 tex 6K	uni-direktional Hexcel	290	0,30
MAT 3	HTS40 F13 12K	NCF, bi-direktional Saertex	256±13	0,27
MAT 4	HTS 5631 800 tex 12K	uni-direktional vom Baur Sohn	325±10	0,4
MAT 5	HTS45 12K E23	Gewebe Textreme	160	0,16
MAT 6	PMI Hartschaum	-	75	15
MAT 7	PA Phenol Wabe	-	48	15
MAT 8	RTM6 Epoxidharz Hexcel	-	-	-

Rohmaterialien zum Framework in integraler Bauweise

Material Bezeichnung	Materialtyp	Bindung	Masse [g/m²]	Dicke [mm]
MAT 9	Prepreg	Satin 4H	385±10	0,265
MAT 6	PMI Schaum	-	75	15
MAT 7	PA / Phenol Wabe	-	48	15
MAT 10	Lochfolie	-	-	-
MAT 11	PA Gewebe	Leinen	-	-
MAT 12	Saugvlies	-	-	-
MAT 13	Vakuumfolie	-	-	-
MAT 14	Dichtband 12MM	-	-	-
MAT 15	EA 9395 Semikit Hysol	-	-	-
MAT 16	Universalniet	-	-	-

Rohmaterialien zum Framework in differentialer Bauweise

D1 Produktdaten – INSTRUKT Framework - Grobplanung

Bauteil, Preform	Material	DELMIA Nr.	Lagen Nr.	Anzahl Lagen, Kerne	Dimension [mm]		Fläche je Lage [m²]	Gesamt- Fläche [m²]	Schnittlänge je Lage [m]	Gesamte Schnittlänge [m]	Aufnahme-, Ablegelänge [m]
		#	#	nf, nk	L	B	F1	Σ F1	SL	Σ SI	I
Longeron LH	MAT 1	01050	1	6	2400	450	1,08	6,48	5,70	34,20	14,40
		01100	2	15	2400	100	0,24	3,60	5,00	75,00	36,00
	MAT 2	01150	3	15	2400	50	0,12	1,80	4,90	73,50	36,00
	MAT 6	01200	4	1	900	350	0,32	0,32	2,50	2,50	0,90
		01250	5	1	650	350	0,23	0,23	2,00	2,00	0,65
		01300	6	1	450	300	0,14	0,14	1,50	1,50	0,45
Longeron RH	MAT 3	00550	7	6	2400	450	1,08	6,48	5,70	34,20	14,40
		00600	8	16	2400	100	0,24	3,84	5,00	80,00	38,40
	MAT 4	00650	9	18	2400	50	0,12	2,16	4,90	88,20	43,20
	MAT 6	00700	10	1	900	350	0,32	0,32	2,50	2,50	0,90
		00750	11	1	650	350	0,23	0,23	2,00	2,00	0,65
		00800	12	1	450	300	0,14	0,14	1,50	1,50	0,45
Longeron CT	MAT 1	01550	13	6	820	400	0,33	1,97	2,44	14,64	4,92
		01600	14	16	700	50	0,04	0,56	1,50	24,00	11,20
		01650	15	10	350	50	0,02	0,18	0,80	8,00	3,50
	MAT 2	01700	16	18	700	50	0,04	0,63	1,50	27,00	12,60
	MAT 6	01750	17	1	750	350	0,26	0,26	2,20	2,20	0,75
Frame 1	MAT 1	02050	18	8	880	300	0,26	2,11	2,36	18,88	7,04
		02100	19	2	320	50	0,02	0,03	0,74	1,48	0,64
Frame 2	MAT 5	02550	22	10	1000	400	0,40	4,00	2,80	28,00	10,00
		02600	23	12	1000	100	0,10	1,20	2,20	26,40	12,00
	MAT 4	02650	24	8	900	40	0,04	0,29	1,88	15,04	7,20
Frame 3	MAT 3	03050	26	6	1300	430	0,56	3,35	3,46	20,76	7,80
		03100	27	18	1200	100	0,12	2,16	2,60	46,80	21,60
		03150	28	2	330	40	0,01	0,03	0,74	1,48	0,66
		03200	29	4	125	125	0,02	0,06	0,50	2,00	0,50
	MAT 4	03250	30	6	1200	50	0,06	0,36	2,50	15,00	7,20
Frame4	MAT 7	03300	31	2	570	320	0,18	0,36	1,78	3,56	1,14
	MAT 5	03550	32	8	1250	365	0,46	3,65	3,23	25,84	10,00
T-Elemente	MAT 6	03600	33	2	450	300	0,14	0,27	1,50	3,00	0,90
	MAT 6	05050	20	24	800	70	0,06	1,34	1,74	41,76	19,20
Pi-Elemente	MAT 4	05100	21	6	800	50	0,04	0,24	1,70	10,20	4,80
	MAT 3	04050	34	26	1200	60	0,07	1,87	2,52	65,52	31,20
L-Elemente	MAT 4	04100	35	12	1200	50	0,06	0,72	2,50	30,00	14,40
	MAT 5	04550	25	20	300	40	0,01	0,24	0,68	13,60	6,00

Produktdaten zum INSTRUKT Framework aus dem „Preliminary Design“ [126]

D2 Produktdaten – INSTRUKT Framework - Feinplanung

Material	DELMIA Nr.	Lagen Nr.	Anzahl Lagen, Kerne	Orientierung	Dimension [mm]					Frame				Longeron			Verbindungs- element		
	#	#	nrf, nk	O	L	B	Da	Di	Dicke	1	2	3	4	LH	RH	CT	T	Π (o+u)	L
MAT 1	02010	1	2	0°/90°	886	336			0,281	x									
	02020	2	2	+45°/-45°	886	336			0,281	x									
	02030	3	2	0°/90°	876	270			0,281	x									
	02040	4	2	+45°/-45°	876	270			0,281	x									
	02050	5	2	+45°/-45°	320	42			0,281	x									
	01010	6	4	0°/90°	320	54			0,281					x					
	01020	7	4	0°/90°	328	54			0,281					x					
	01030	8	2	0°/90°	288	60			0,281					x					
	01040	9	2	0°/90°	350	75			0,281					x					
	01050	10	2	0°/90°	2418	437			0,281					x					
	01060	11	4	+45°/-45°	2418	437			0,281					x					
	01070	12	4	+45°/-45°	2418	35			0,281					x					
	01080	13	4	0°/90°	2418	123			0,281					x					
	01090	14	4	0°/90°	2418	113			0,281					x					
	01100	15	2	0°/90°	2418	70			0,281					x					
	01110	16	1	+45°/-45°	2418	70			0,281					x					
	01510	17	2	0°/90°	817	413			0,281							x			
	01520	18	4	+45°/-45°	817	413			0,281							x			
	01530	19	4	0°/90°	718	58			0,281							x			
	01540	20	4	0°/90°	718	36			0,281							x			
	01550	21	4	0°/90°	345	48			0,281							x			
	01560	22	4	0°/90°	345	16			0,281							x			
	01570	23	2	0°/90°	718	70			0,281							x			
	01580	24	2	+45°/-45°	718	70			0,281							x			
	01590	25	2	0°/90°	685	70			0,281							x			
	01600	26	2	+45°/-45°	685	70			0,281							x			
	01610	27	2	+45°/-45°	345	50			0,281							x			
Summe			75																

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Material	DELMIA Nr.	Lagen Nr.	Anzahl Lagen, Kerne	Orientierung	Dimension [mm]					Frame				Longeron			Verbindungs- element		
	#	#	nf, nk	O	L	B	Da	Di	Dicke	1	2	3	4	LH	RH	CT	T	Π (o+u)	L
MAT 2	01120	28	3	0°	2418	70			0,266					x					
	01130	29	12	0°	2418	35			0,266					x					
	01620	30	3	0°	718	70			0,266							x			
	01630	31	3	0°	718	28			0,266							x			
	01640	32	6	0°	685	70			0,266							x			
	01650	33	6	0°	685	28			0,266							x			
Summe			33																
MAT 3	05010	34	4	0°/90°	819	70			0,246	x							x		
	05020	35	4	+45°/-45°	819	70			0,246	x							x		
	05030	36	4	0°/90°	819	65			0,246	x							x		
	05040	37	4	+45°/-45°	819	65			0,246	x							x		
	05050	38	4	0°/90°	770	70			0,246	x							x		
	05060	39	4	+45°/-45°	770	70			0,246	x							x		
	03010	40	2	+45°/-45°	1298	434		70	0,246			x							
	03020	41	2	0°/90°	1298	430		70	0,246			x							
	03030	42	2	+45°/-45°	1308	430		70	0,246			x							
	03040	43	4	0°/90°	1190	124		70	0,246			x							
	03050	44	4	0°/90°	1190	114		70	0,246			x							
	03060	45	6	0°/90°	1190	70		70	0,246			x							
	03070	46	4	+45°/-45°	1190	70		70	0,246			x							
	03080	47	2	+45°/-45°	328	40		70	0,246			x							
	03090	48	2	+45°/-45°			110	70	0,246			x							
	03100	49	2	+45°/-45°			130	70	0,246			x							
	00510	50	2	0°/90°	320	54			0,246					x					
	00520	51	2	0°/90°	328	54			0,246					x					
	00530	52	2	0°/90°	288	60			0,246					x					
	00540	53	2	0°/90°	350	75			0,246					x					
	00550	54	2	0°/90°	2418	438			0,246					x					
	00560	55	4	+45°/-45°	2418	438			0,246					x					
	00570	56	4	0°/90°	2418	116			0,246					x					
	00580	57	4	0°/90°	2418	90			0,246					x					
	00590	58	4	0°/90°	2418	70			0,246					x					
	00600	59	4	+45°/-45°	2418	70			0,246					x					
	04010	60	2	0°/90°	1258	70			0,246				x					x	
	04020	61	3	+45°/-45°	1258	70			0,246				x					x	
	04030	62	2	0°/90°	1190	70			0,246				x					x	
	04040	63	3	+45°/-45°	1190	70			0,246				x					x	
	04050	64	2	0°/90°	1258	68			0,246				x					x	
	04060	65	2	+45°/-45°	1190	68			0,246				x					x	
	04070	66	2	0°/90°	1190	68			0,246				x					x	
	04080	67	2	+45°/-45°	1190	68			0,246				x					x	
	04090	68	2	0°/90°	1258	52			0,246				x					x	
	04100	69	2	+45°/-45°	1258	52			0,246				x					x	
	04110	70	2	0°/90°	1190	52			0,246				x					x	
	04120	71	2	+45°/-45°	1190	52			0,246				x					x	
Summe			110																

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Material	DELMIA Nr.	Lagen Nr.	Anzahl Lagen, Kerne	Orientierung	Dimension [mm]					Frame				Longeron			Verbindungs- element		
	#	#	nf, nk	O	L	B	Da	Di	Dicke	1	2	3	4	LH	RH	CT	T	Π (o+u)	L
MAT 4	05070	72	2	0°	770	70			0,32	x							x		
	05080	73	4	0°	770	35			0,32	x							x		
	02510	74	8	0°	900	34			0,32		x								
	03110	75	2	0°	1190	70			0,32			x							
	03120	76	4	0°	1190	35			0,32			x							
	00610	77	6	0°	2418	70			0,32					x					
	00620	78	12	0°	2418	35			0,32					x					
	04130	79	2	0°	1258	70			0,32				x					x	
	04140	80	2	0°	1258	35			0,32				x					x	
	04150	81	4	0°	1190	70			0,32				x					x	
	04160	82	4	0°	1190	35			0,32				x					x	
Summe			50																
MAT 5	02520	83	4	0°/90°	977	420			0,158		x								
	02530	84	6	+45°/-45°	977	420			0,158		x								
	02540	85	4	0°/90°	977	80			0,158		x								
	02550	86	4	0°/90°	977	70			0,158		x								
	02560	87	4	+45°/-45°	977	70			0,158		x								
	04510	88	4	0°/90°	288	50			0,158		x								x
	04520	89	8	+45°/-45°	288	50			0,158		x								x
	04530	90	4	0°/90°	288	40			0,158		x								x
	04540	91	4	+45°/-45°	288	40			0,158		x								x
	03510	92	2	0°/90°	1258	365			0,158				x						
	03520	93	6	+45°/-45°	1258	365			0,158				x						
Summe			50																
MAT 6	03530	95	2		548	272			15				x						
	00630, 01140	96	2		890	336			15					x	x				
	00640, 01150	97	2		671	337			15					x	x				
	00650, 01160	98	2		430	316			15					x	x				
	01660	99	1		752	358			15							x			
	03130	94	2		566	312			15			x							
Summe Kerne			9																
Summe Lagen			318																

Produktdaten zum INSTRUKT Framework aus dem „Detail Design“ [127]

Weitere Angaben zum Lagenaufbau siehe [86].

E Transportmatrizen

Von\Nach	Lager	Station 1a	Station 1b	Station 2	Station 2a	Station 2b	Station 3
Lager	x	Rollen- material: MAT 1-5	Kern- werkstoffe: MAT 6-7				Harzsystem: MAT 8, Kaufteil
Station 1a		x		Lagen-/ Zuschnitte: Frames, Longerons, Pi-, L-, T- Elemente	Lagen-/ Zuschnitte: Frames & Longerons	Lagen-/ Zuschnitte: Pi-, L-, T- Elemente	
Station 1b			x				Schaum- & Wabenkerne
Station 2				x			Preforms: Frames, Longerons, Pi- , L-, T- Elemente
Station 2a					x		Lagen-/ Zuschnitte: Frames & Longerons
Station 2b						x	Lagen-/ Zuschnitte: Pi-, L-, T- Elemente
Station 3	Framework						x

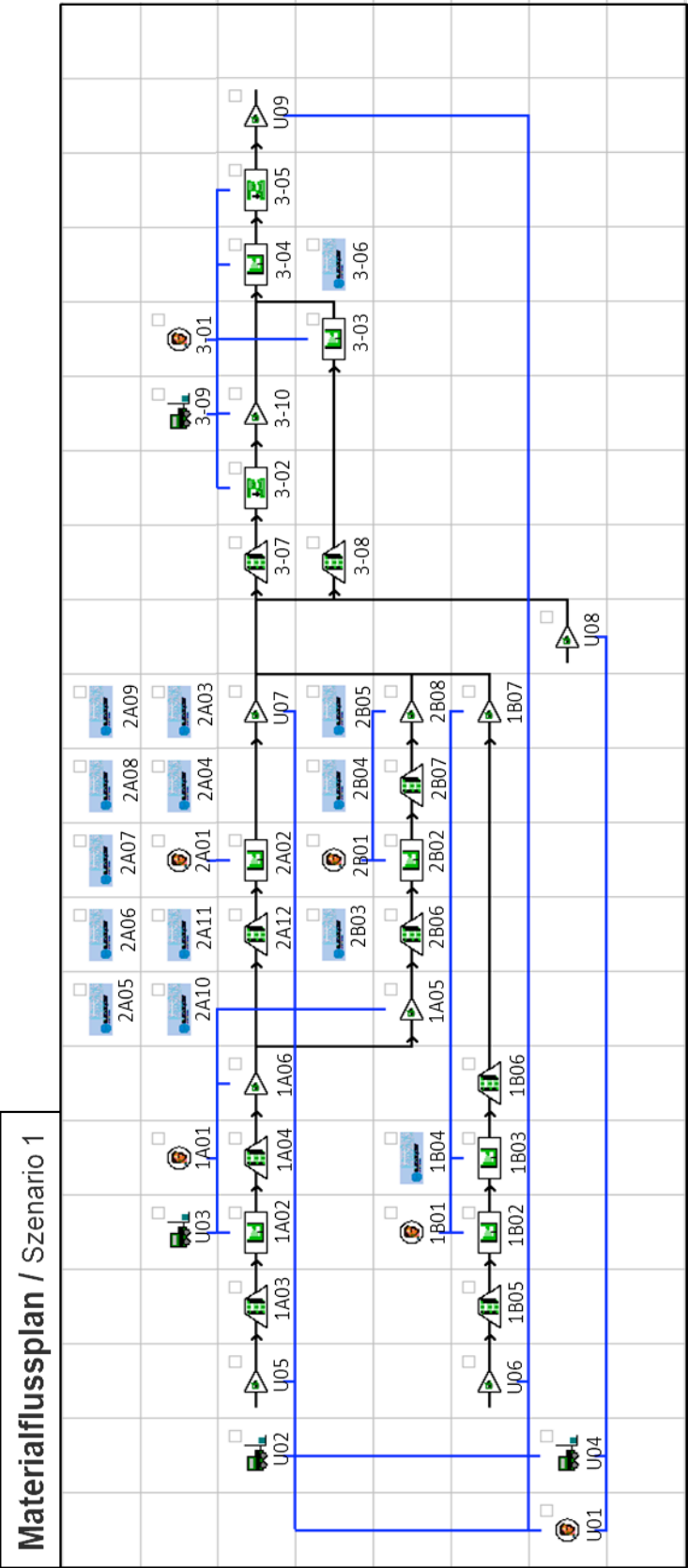
Transportmatrix für Materialien, Halbzeuge und Erzeugnisse

Von\Nach	Lager	Station 1a	Station 1b	Station 2	Station 2a	Station 2b	Station 3
Lager	x	W_TH, Rollen- wagen 1	W_TH, Rollen- wagen 2				W_TH, Rollen- wagen 2
Station 1a		X		W_Cutter	W_Cutter	W_Cutter	
Station 1b			x				W_CNC-MA
Station 2				X			W_TH, Rollen- wagen 2
Station 2a					x		W_TH, Rollen- wagen 2
Station 2b						x	W_TH, Rollen- wagen 2
Station 3	W_TH, Rollen- wagen 2						x

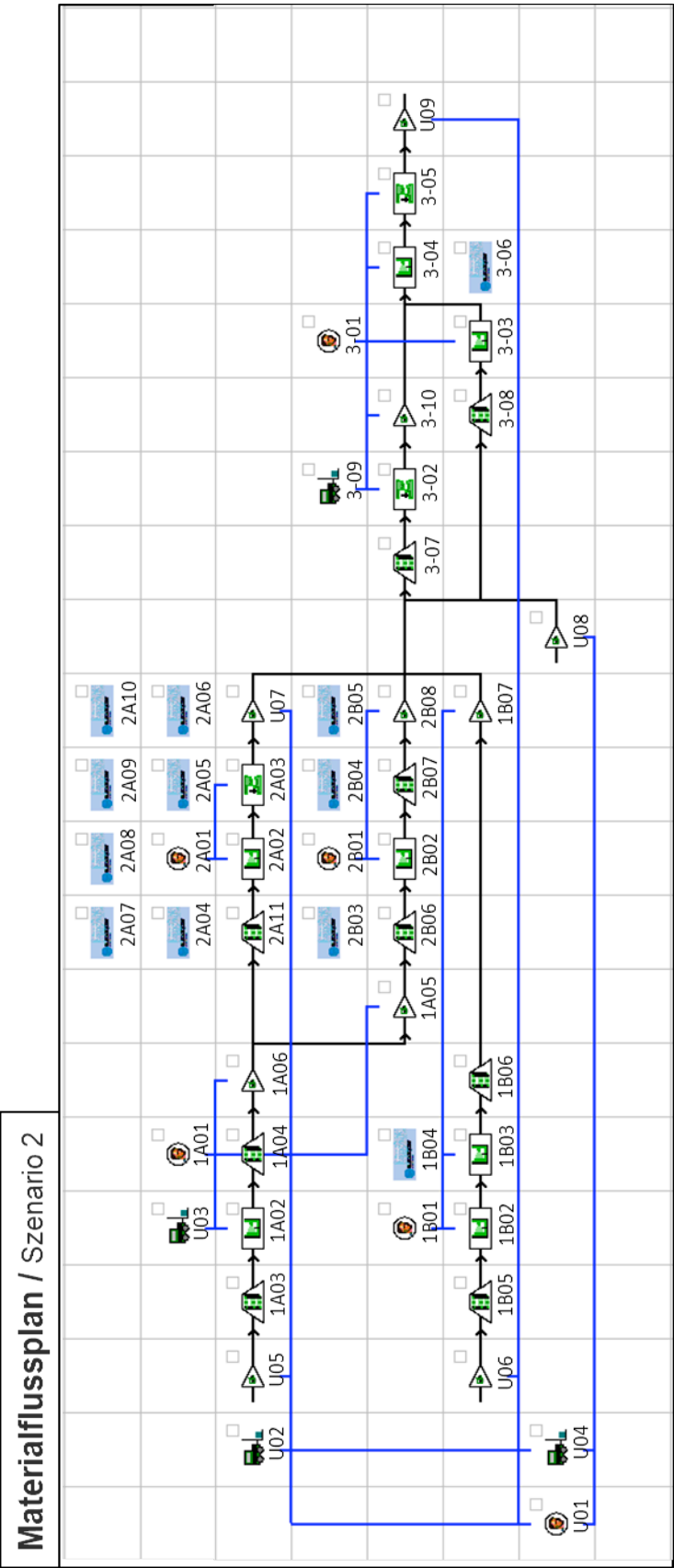
W_TH: Werker Transporthilfskraft
W_Cutter: Werker Cutter
W_CNC-MA: Werker CNC-Fräsmaschine

Transportmatrix für Transporthilfskräfte und stationsungebundene Transportmittel

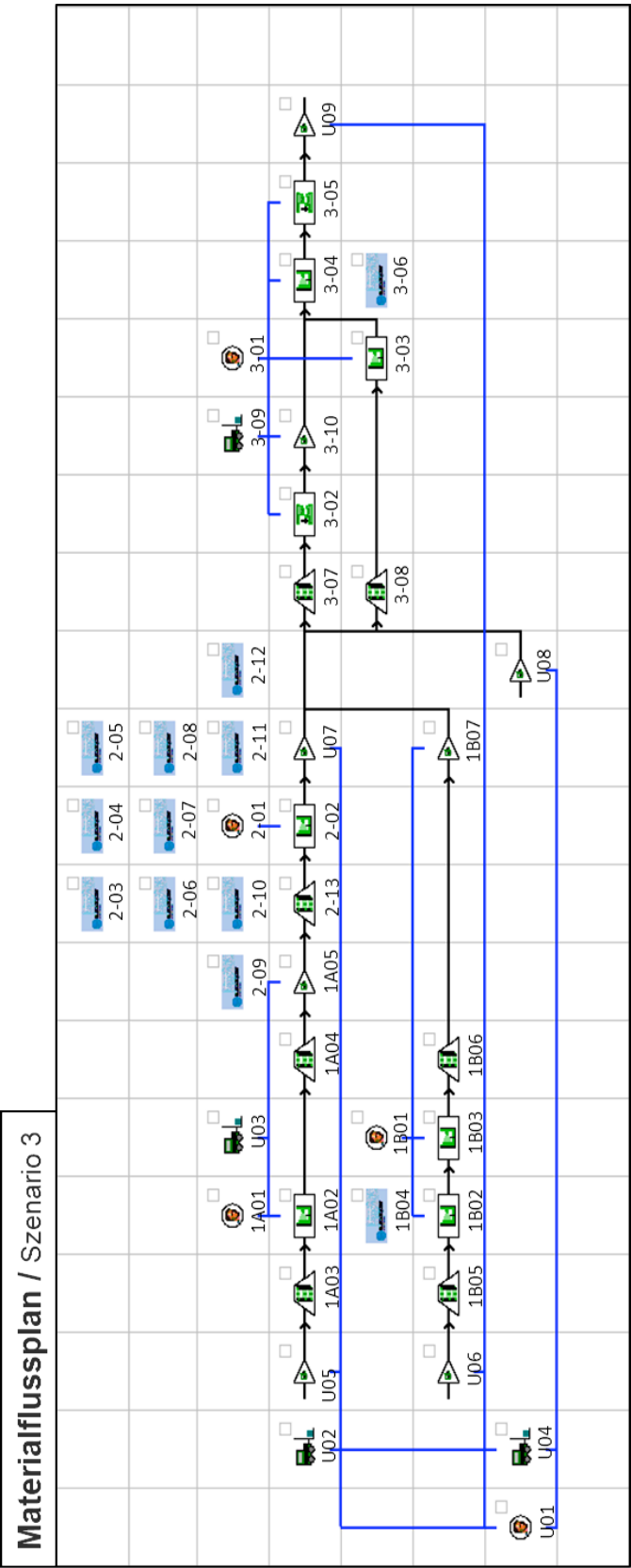
F1 M-Plan – Front-End Szenario 1



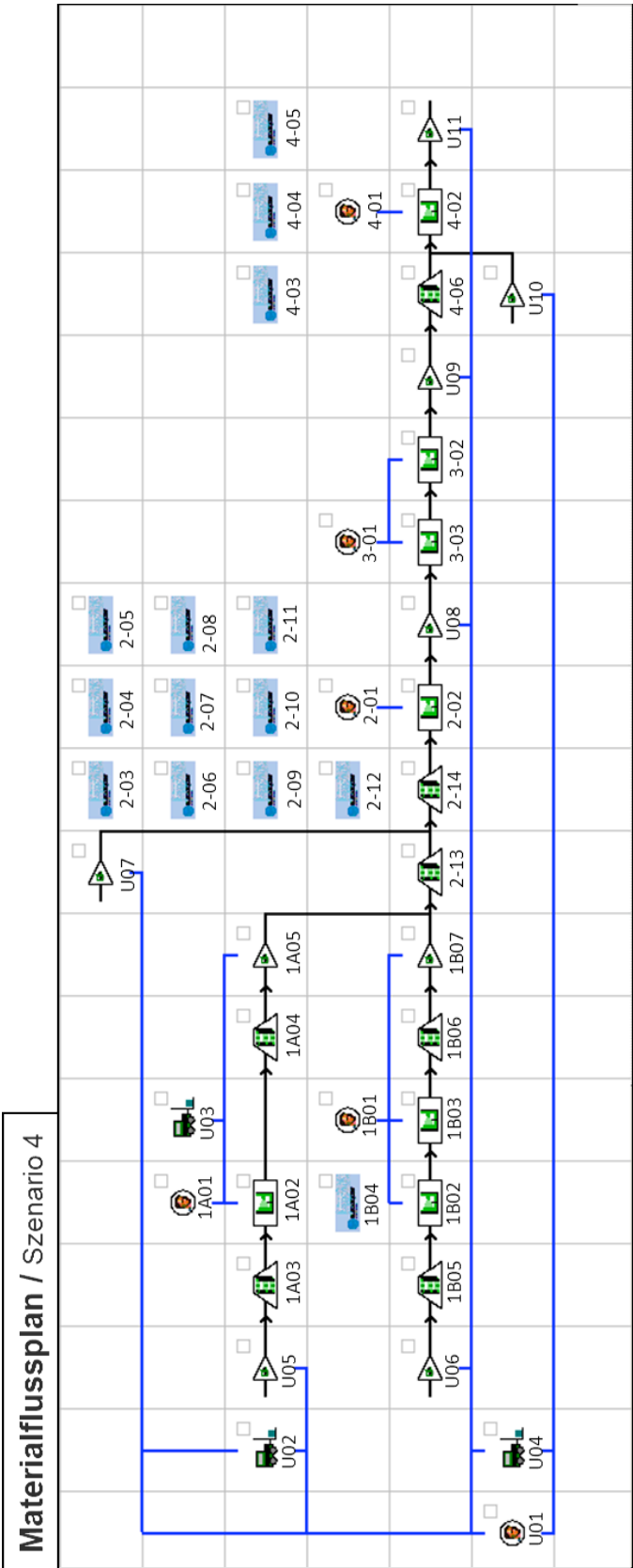
F2 M-Plan – Front-End Szenario 2



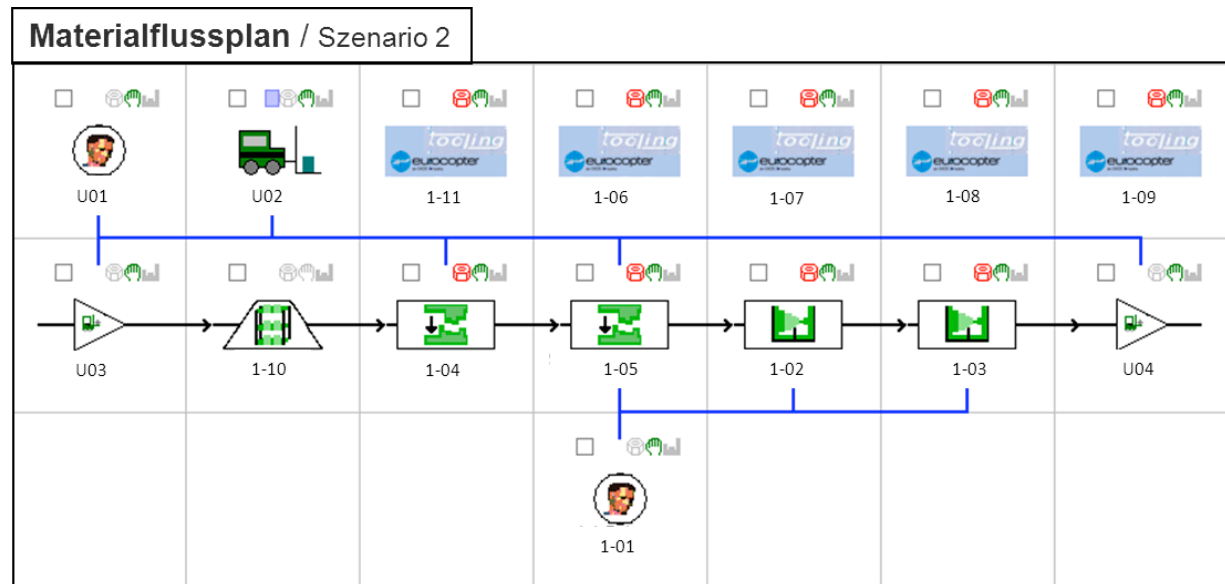
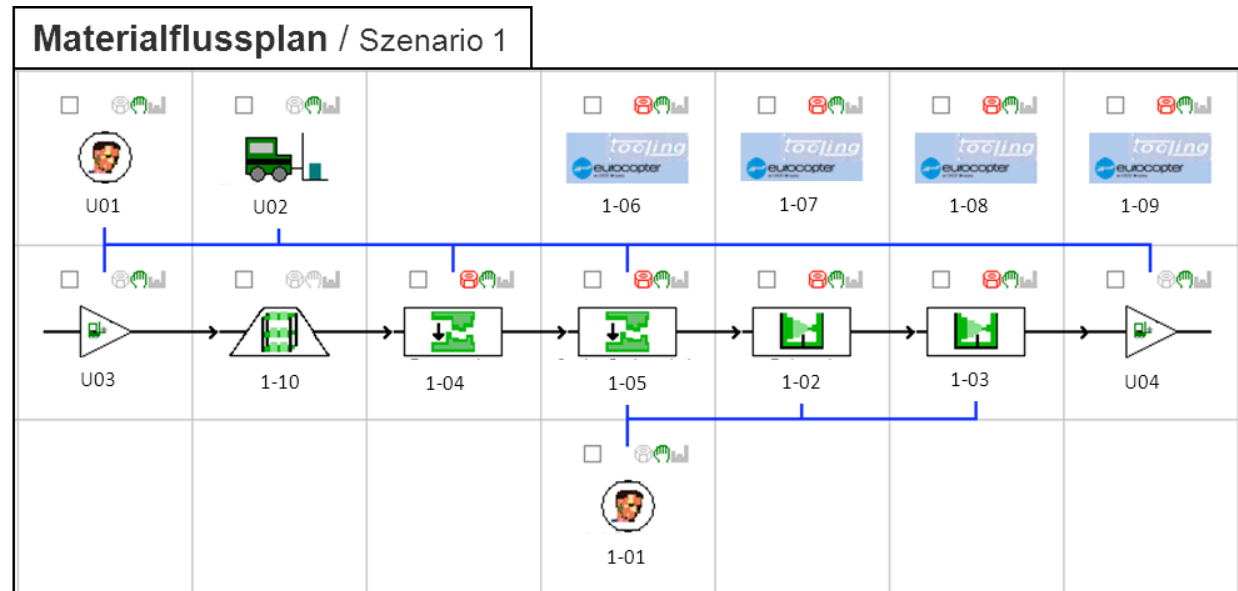
F3 M-Plan – Front-End Szenario 3



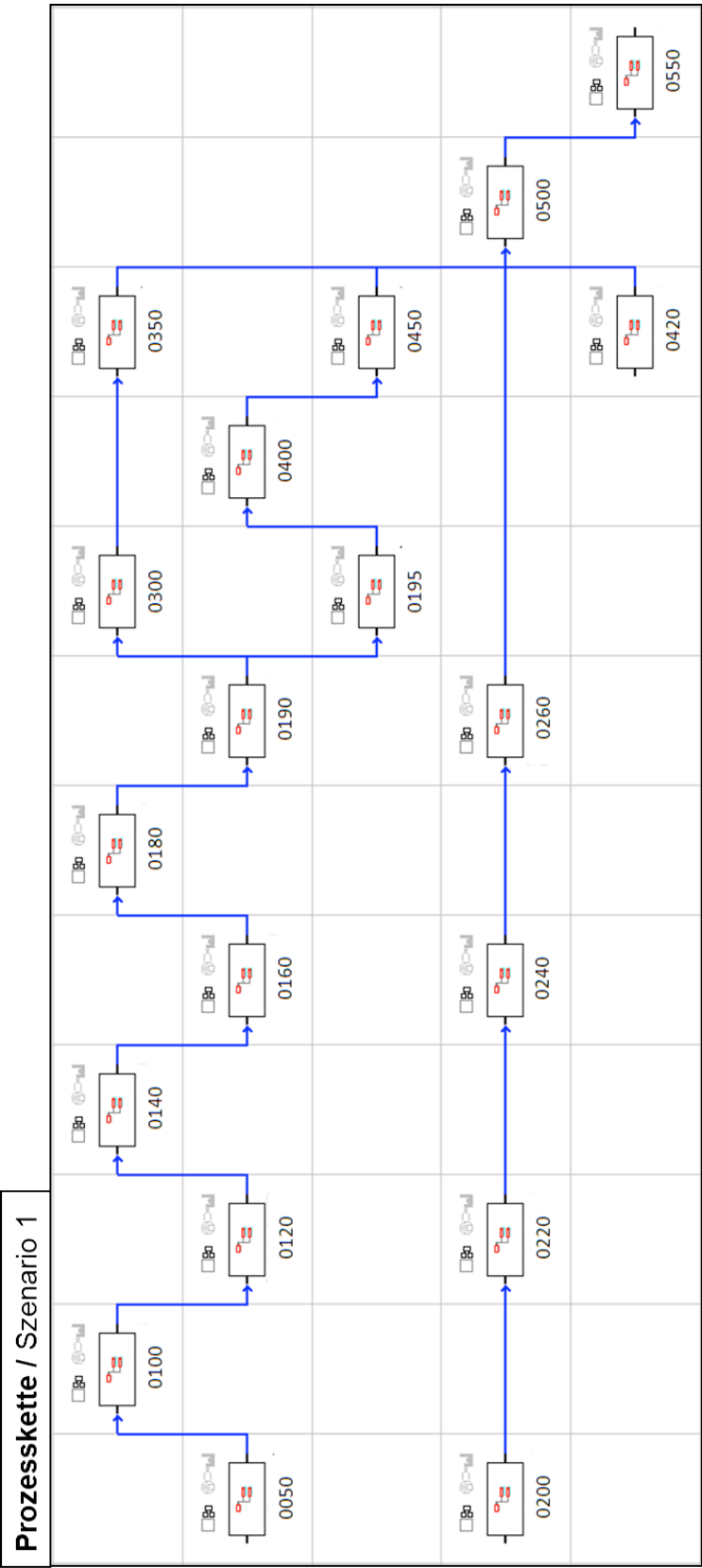
F4 M-Plan – Front-End Szenario 4



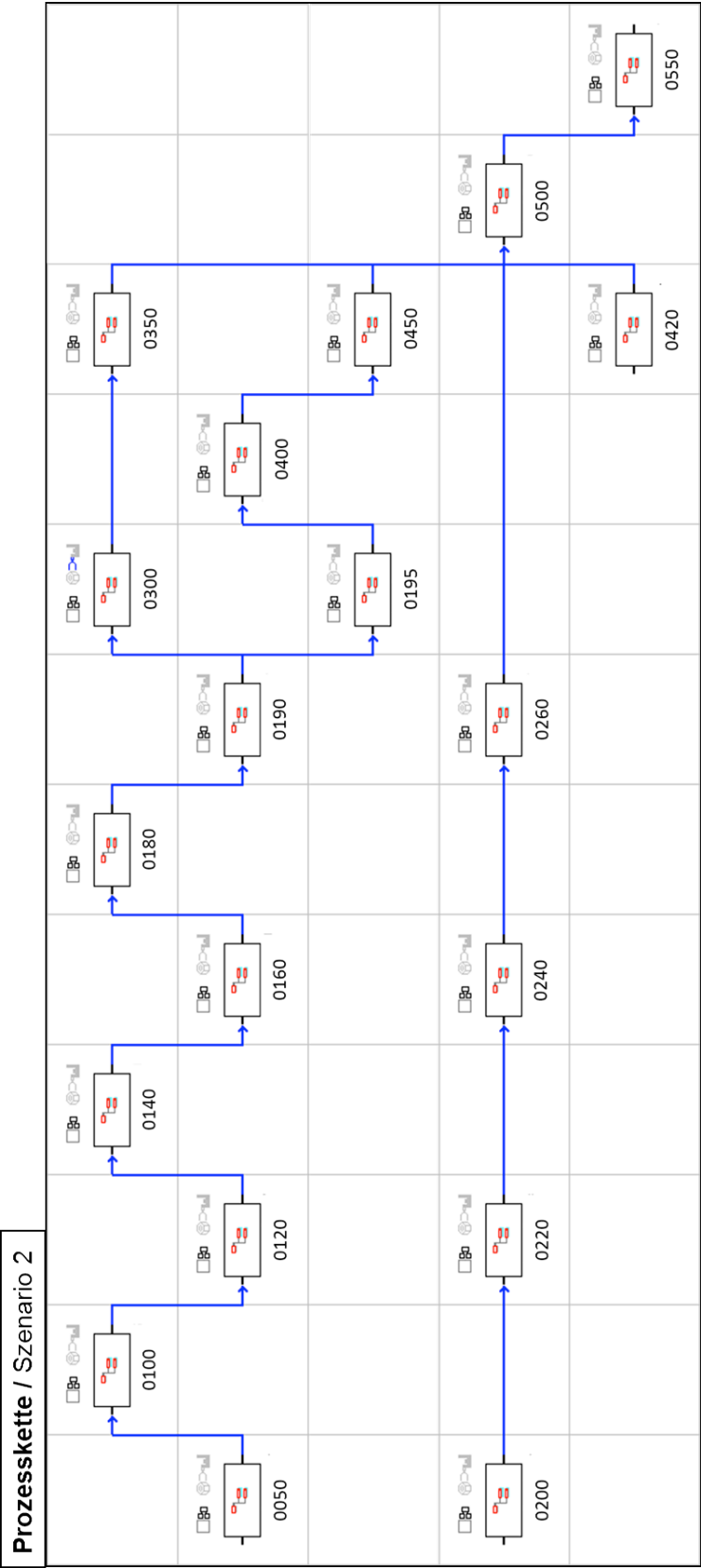
F5 M-Plan – Back-End Szenarien 1 & 2



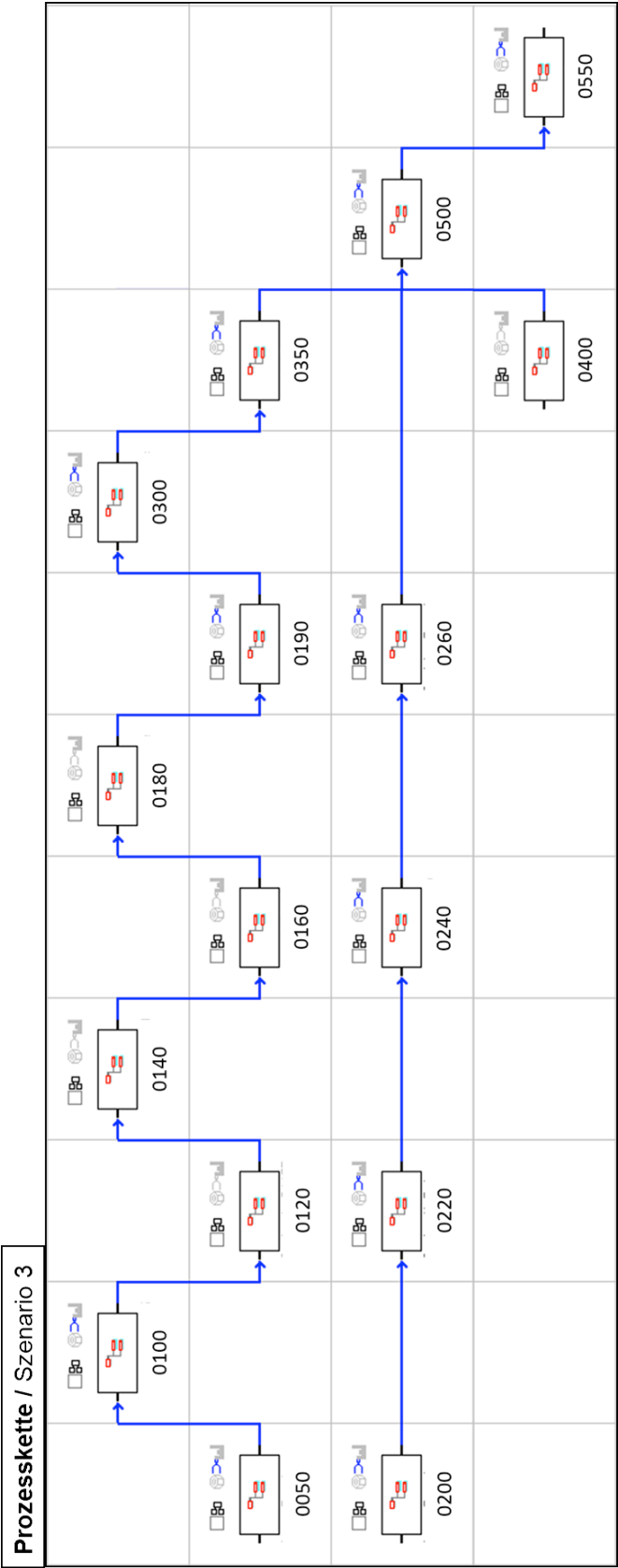
G1 Prozesskette – Front-End Szenario 1



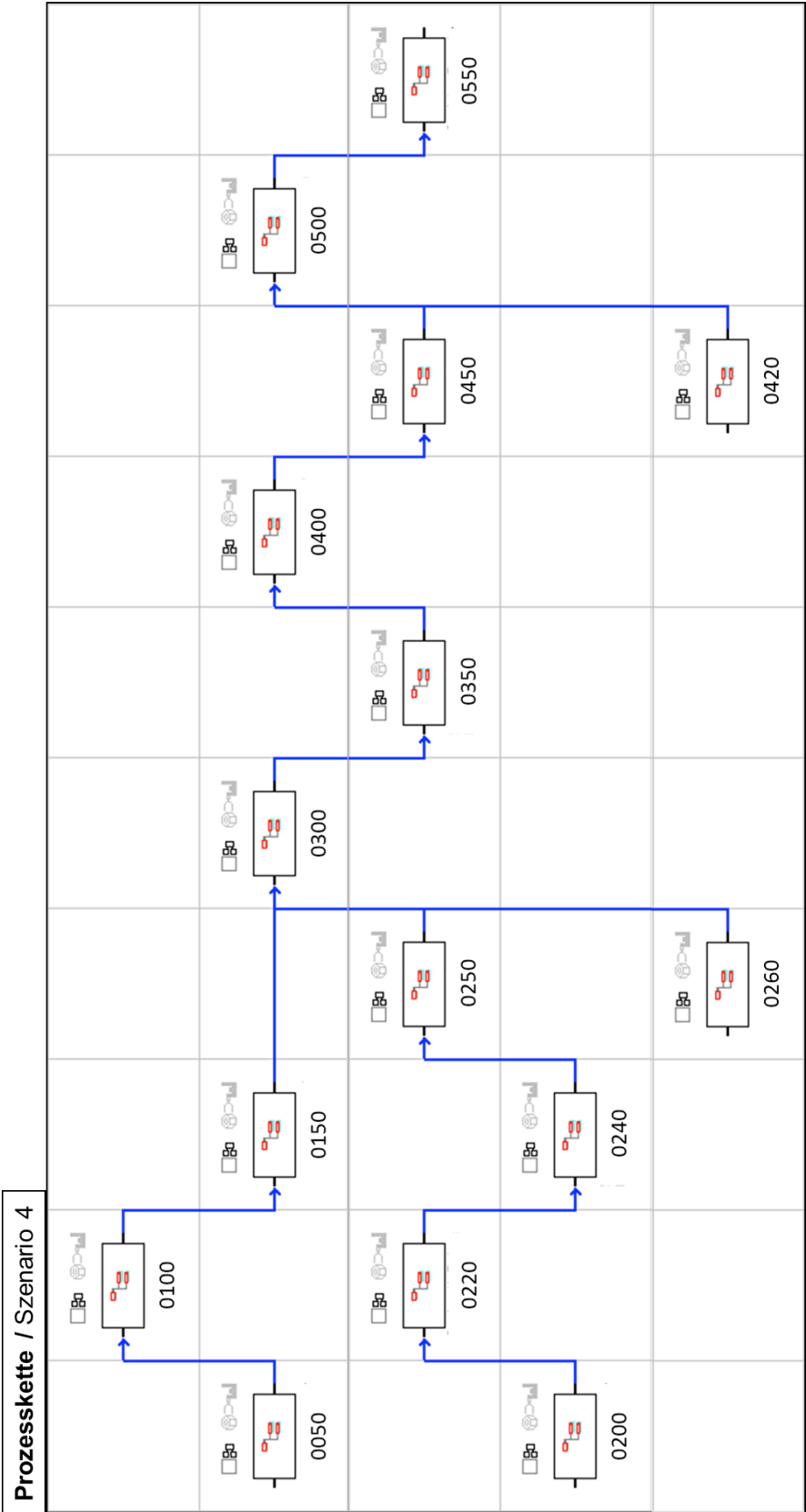
G2 Prozesskette – Front-End Szenario 2



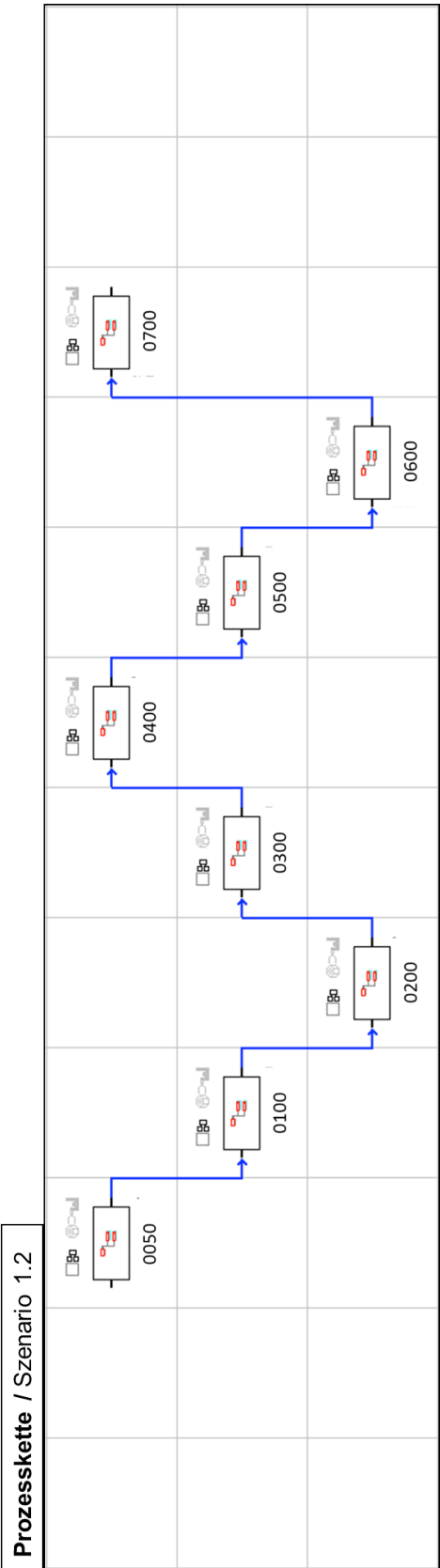
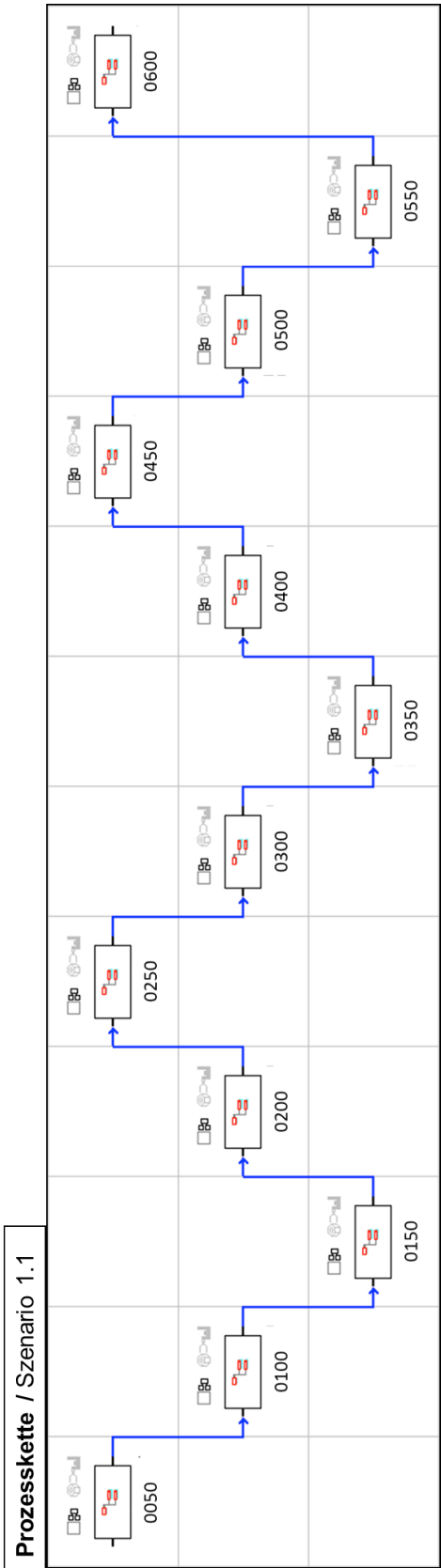
G3 Prozesskette – Front-End Szenario 3



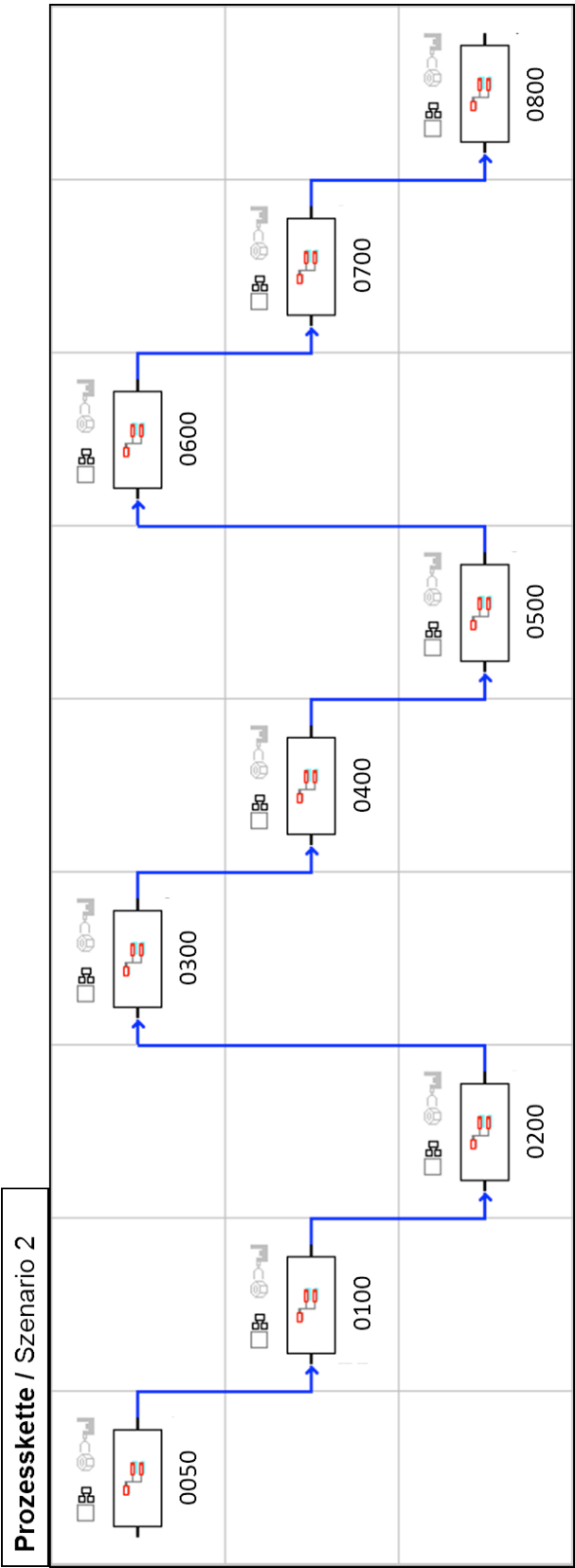
G4 Prozesskette – Front-End Szenario 4



G5 Prozesskette – Back-End Szenarien 1.1 & 1.2



G6 Prozesskette – Back-End Szenario 2



H1 F-Plan – Front-End Szenario 1

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0001	0050	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Rollenmat., Lager		
0002			020	Transportieren Rollenmat.		
0003			030	Speichern Rollenmat. 1, Rohmat.speicher 1		
0004	0100	Sation 1a, MAT 1, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 1, Rohmat.speicher 1		
0005			020	Startbefehl geben		
0006			030	Fördern		
0007			040	Kennzeichnen		
0008			050	Zuschneiden		
0009			060	Stopbefehl geben		
0010			070	Speichern Zuschnitte MAT 1, Speicher 1a		
0011	0120	Sation 1a, MAT 2, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 2, Rohmat.speicher 1		
0012			020	Startbefehl geben		
0013			030	Fördern		
0014			040	Kennzeichnen		
0015			050	Zuschneiden		
0016			060	Stopbefehl geben		
0017			070	Speichern Zuschnitte MAT 2, Speicher 1a		
0018	0140	Sation 1a, MAT 3, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 3, Rohmat.speicher 1		
0019			020	Startbefehl geben		
0020			030	Fördern		
0021			040	Kennzeichnen		
0022			050	Zuschneiden		
0023			060	Stopbefehl geben		
0024			070	Speichern Zuschnitte MAT 3, Speicher 1a		
0025	0160	Sation 1a, MAT 4, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 4, Rohmat.speicher 1		
0026			020	Startbefehl geben		
0027			030	Fördern		
0028			040	Kennzeichnen		
0029			050	Zuschneiden		
0030			060	Stopbefehl geben		
0031			070	Speichern Zuschnitte MAT 4, Speicher 1a		
0032	0180	Sation 1a, MAT 5, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 5, Rohmat.speicher 1		
0033			020	Startbefehl geben		
0034			030	Fördern		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0035			040	Kennzeichnen		
0036			050	Zuschneiden		
0037			060	Stopbefehl geben		
0038			070	Speichern Zuschnitte MAT 5, Rohmat.speicher 1a		
0039	0190	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Zuschnitte (LRs+Frames), Speicher 1a		
0040			020	Transportieren Zuschnitte (LRs+Frames)		
0041			030	Speichern Zuschnitte (LRs+Frames), Speicher 2a		
0042	0195	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Zuschnitte (Verbindungsel.), Speicher 1a		
0043			020	Transportieren Zuschnitte (Verbindungsel.)		
0044			030	Speichern Zuschnitte (Verbindungsel.), Speicher 2b		
0045	0200	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 6-7, Lager		
0046			020	Transportieren Kernwerkstoffe		
0047			002	Speichern Kernwerkstoffe, Rohmat.speicher 2		
0048	0220	Sation 1b, MAT 6, CNC-Fräsen	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 6, Rohmat.speicher 2		
0049			020	Grob zuschneiden		
0050			030	Positionieren Kernwerkstoffe MAT 6		
0051			040	Starbefehl geben		
0052			050	Werkzeugwechsel Fräskopf		
0053			060	Fräsen		
0054			070	Stopbefehl geben		
0055			080	Speichern Kerne MAT 6, Speicher 1b		
0056	0240	Sation 1b, MAT 7, CNC-Fräsen	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 7, Rohmat.speicher 2		
0057			020	Grob zuschneiden		
0058			030	Positionieren Kernwerkstoffe MAT 7		
0059			040	Starbefehl geben		
0060			050	Werkzeugwechsel Fräskopf		
0061			060	Fräsen		
0062			070	Stopbefehl geben		
0063			080	Speichern Kerne MAT 7, Speicher 1b		
0064	0260	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Kerne, Speicher 1b		
0065			020	Transportieren Kerne		
0066			030	Speichern Kerne, Speicher 3		
0067	0300	AP Station 2 Preforms autom. P&D, P&W	010	Startbefehl geben		
0068			020	WW Pick&Drape-Kopf		
0069			030	Pick&Drape Longeron RH		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0070			035	Pick&Drape Longeron LH		
0071			040	Pick&Drape Longeron CT		
0072			045	Pick&Drape Frame 1		
0073			050	Pick&Drape Frame 2		
0074			055	Pick&Drape Frame 3		
0075			060	Pick&Drape Frame 4		
0076			070	WW Pick&Weld-Kopf		
0077			080	Pick&Weld Frame 3		
0078			090	Stopbefehl geben		
0079	0350	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Preforms (LRs + Frames)		
0080			020	Transportieren Preforms (LRs + Frames)		
0081			030	Speichern Preforms (LRs + Frames), Speicher 3		
0082	0400	Station 2b Verbindungselemente manuell Drapieren + Heißbügeln	010	Entnehmen Zuschnitte (Pi), Speicher 2b		
0083			015	Manuell Drapieren + Heißbügeln (Pi)		
0084			020	Nachbearbeiten (Pi)		
0085			025	Speichern Pi-Element, Speicher 2b		
0086			030	Entnehmen Zuschnitte (L), Speicher 2b		
0087			035	Manuell Drapieren + Heißbügeln (L)		
0088			040	Nachbearbeiten (L)		
0089			045	Speichern L-Element, Speicher 2b		
0090			050	Entnehmen Zuschnitte (T), Speicher 2b		
0091			055	Manuell Drapieren + Heißbügeln (T)		
0092			060	Nachbearbeiten (T)		
0093			065	Speichern T-Element, Speicher 2b		
0094	0420	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Pi-Kaufteile, Lager		
0095			015	Entnehmen Harzsystem MAT 8, Lager		
0096			020	Transportieren Pi-Kaufteile + Harzsystem MAT 8, Speicher 3		
0097			030	Speichern Pi-Kaufteile, Speicher 3		
0098			040	Speichern Harzsystem MAT 8, Harzspeicher		
0099	0450	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Preforms (Verbindungel.)		
0100			020	Transportieren Preforms (Verbindungel.)		
0101			030	Speichern Preforms (Verbindungel.), Speicher 3		
0102	0500	Station 3 Framework RTM	010	RTM-Prozess manuell		
0103			020	RTM-Prozess automatisiert		
0104			030	Nachbearbeiten Framework		
0105	0550	Speicher Entnahme + Transport + Lagerung	010	Entnehmen Framework		
0106			020	Transportieren Framework		
0107			030	Abgabe Framework, Lager		
Summe						

H2 F-Plan – Front-End Szenario 2

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0001	0050	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Rollenmat. 1-5, Lager		
0002			020	Transportieren Rollenmat.		
0003			030	Speichern Rollenmat. 1-5, Rohmat.speicher 1		
0004	0100	Station 1a, MAT 1, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 1, Rohmat.speicher 1		
0005			020	Startbefehl geben		
0006			030	Fördern		
0007			040	Kennzeichnen		
0008			050	Zuschneiden		
0009			060	Stopbefehl geben		
0010			070	Speichern Zuschnitte MAT 1, Speicher 1a		
0011	0120	Station 1a, MAT 2, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 2, Rohmat.speicher 1		
0012			020	Startbefehl geben		
0013			030	Fördern		
0014			040	Kennzeichnen		
0015			050	Zuschneiden		
0016			060	Stopbefehl geben		
0017			070	Speichern Zuschnitte MAT 2, Speicher 1a		
0018	0140	Station 1a, MAT 3, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 3, Rohmat.speicher 1		
0019			020	Startbefehl geben		
0020			030	Fördern		
0021			040	Kennzeichnen		
0022			050	Zuschneiden		
0023			060	Stopbefehl geben		
0024			070	Speichern Zuschnitte MAT 3, Speicher 1a		
0025	0160	Station 1a, MAT 4, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 4, Rohmat.speicher 1		
0026			020	Startbefehl geben		
0027			030	Fördern		
0028			040	Kennzeichnen		
0029			050	Zuschneiden		
0030			060	Stopbefehl geben		
0031			070	Speichern Zuschnitte MAT 4, Speicher 1a		
0032	0180	Station 1a, MAT 5, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 5, Rohmat.speicher 1		
0033			020	Startbefehl geben		
0034			030	Fördern		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0035			040	Kennzeichnen		
0036			050	Zuschneiden		
0037			060	Stopbefehl geben		
0038			070	Speichern Zuschnitte MAT 5, Rohmat.speicher 1a		
0039	0190	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Zuschnitte (LRs+Frames), Speicher 1a		
0040			020	Transportieren Zuschnitte (LRs+Frames)		
0041			030	Speichern Zuschnitte (LRs+Frames), Speicher 2a		
0042	0195	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Zuschnitte (Verbindungs-), Speicher 1a		
0043			020	Transportieren Zuschnitte (Verbindungs-)		
0044			030	Speichern Zuschnitte (Verbindungs-), Speicher 2b		
0045	0200	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 6-7, Lager		
0046			020	Transportieren Kernwerkstoffe MAT 6-7		
0047			002	Speichern Kernwerkstoffe MAT 6-7, Rohmat.speicher 2		
0048	0220	Sation 1b, MAT 6, CNC-Fräsen	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 6 , Rohmat.speicher 2		
0049			020	Grob zuschneiden		
0050			030	Positionieren Kernwerkstoffe		
0051			040	Starbefehl geben		
0052			050	Werkzeugwechsel Fräskopf		
0053			060	Fräsen		
0054			070	Stopbefehl geben		
0055			080	Speichern Kerne MAT 6, Speicher 1b		
0056	0240	Sation 1b, MAT 7, CNC-Fräsen	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 7, Rohmat.speicher 2		
0057			020	Grob zuschneiden		
0058			030	Positionieren Kernwerkstoffe		
0059			040	Starbefehl geben		
0060			050	Werkzeugwechsel Fräskopf		
0061			060	Fräsen		
0062			070	Stopbefehl geben		
0063			080	Speichern Kerne MAT 7, Speicher 1b		
0064	0260	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Kerne, Speicher 1b		
0065			020	Transportieren Kerne		
0066			030	Speichern Kerne, Speicher 3		
0067	0300	Station 2a LRs + Frames Single Diaphragma	005	Entnehmen Zuschnitte (LRs), Speicher 2a		
0068			010	Single-Diaphragma manuell SD_V1-3		
0069			015	Single-Diaphragma automat. SD_V1-3		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0070			020	Nachbearbeiten Longerons		
0071			025	Speichern Longerons, Speicher 2a		
0072			030	Entnehmen Zuschnitte (Frames), Speicher 2a		
0073			035	Single-Diaphragma manuell SD_V4-7		
0074			040	Single-Diaphragma automat. SD_V4-7		
0075			045	Nachbearbeiten Frames		
0076			050	Speichern Frames, Speicher 2a		
0077	0350	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Preforms (LRs + Frames)		
0078			020	Transportieren Preforms (LRs + Frames)		
0079			030	Speichern Preforms (LRs + Frames), Speicher 3		
0080	0400	Station 2b Verbindungselemente manuell Drapieren + Heißbügeln	010	Entnehmen Zuschnitte (Pi), Speicher 2b		
0081			015	Manuell Drapieren + Heißbügeln (Pi)		
0082			020	Nachbearbeiten (Pi)		
0083			025	Speichern Pi-Element, Speicher 2b		
0084			030	Entnehmen Zuschnitte (L), Speicher 2b		
0085			035	Manuell Drapieren + Heißbügeln (L)		
0086			040	Nachbearbeiten (L)		
0087			045	Speichern L-Element, Speicher 2b		
0088			050	Entnehmen Zuschnitte (T), Speicher 2b		
0089			055	Manuell Drapieren + Heißbügeln (T)		
0090			060	Nachbearbeiten (T)		
0091			065	Speichern T-Element, Speicher 2b		
0092	0420	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Pi-Kaufteile, Lager		
0093			015	Entnehmen Harzsystem MAT 8, Lager		
0094			020	Transportieren Pi-Kaufteile + Harzsystem MAT 8, Speicher 3		
0095			030	Speichern Pi-Kaufteile, Speicher 3		
0096			040	Speichern Harzsystem MAT 8, Harzspeicher		
0097	0450	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Preforms (Verbindungel.), Speicher 2b		
0098			020	Transportieren Preforms (Verbindungel.)		
0099			030	Speichern Preforms (Verbindungel.), Speicher 3		
0100	0500	Station 3 Framework RTM	010	RTM-Prozess manuell		
0101			020	RTM-Prozess automatisiert		
0102			030	Nachbearbeiten Framework		
0103	0550	Speicher Entnahme + Transport + Lagerung	010	Entnehmen Framework		
0104			020	Transportieren Framework		
0105			030	Abgabe Framework, Lager		
Summe						

H3 F-Plan – Front-End Szenario 3

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0001	0050	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Rollenmat., Lager		
0002			020	Transportieren Rollenmat.		
0003			030	Speichern Rollenmat., Rohmat.speicher 1		
0004	0100	Station 1a, MAT 1, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 1, Rohmat.speicher 1		
0005			020	Startbefehl geben		
0006			030	Fördern		
0007			040	Kennzeichnen		
0008			050	Zuschneiden		
0009			060	Stopbefehl geben		
0010			070	Speichern Zuschnitte MAT 1, Speicher 1a		
0011	0120	Station 1a, MAT 2, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 2, Rohmat.speicher 1		
0012			020	Startbefehl geben		
0013			030	Fördern		
0014			040	Kennzeichnen		
0015			050	Zuschneiden		
0016			060	Stopbefehl geben		
0017			070	Speichern Zuschnitte MAT 2, Speicher 1a		
0018	0140	Station 1a, MAT 3, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 3, Rohmat.speicher 1		
0019			020	Startbefehl geben		
0020			030	Fördern		
0021			040	Kennzeichnen		
0022			050	Zuschneiden		
0023			060	Stopbefehl geben		
0024			070	Speichern Zuschnitte MAT 3, Speicher 1a		
0025	0160	Station 1a, MAT 4, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 4, Rohmat.speicher 1		
0026			020	Startbefehl geben		
0027			030	Fördern		
0028			040	Kennzeichnen		
0029			050	Zuschneiden		
0030			060	Stopbefehl geben		
0031			070	Speichern Zuschnitte MAT 4, Speicher 1a		
0032	0180	Station 1a, MAT 5, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 5, Rohmat.speicher 1		
0033			020	Startbefehl geben		
0034			030	Fördern		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0035			040	Kennzeichnen		
0036			050	Zuschneiden		
0037			060	Stopbefehl geben		
0038			070	Speichern MAT 5, Rohmat.speicher 1a		
0039	0190	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Zuschnitte, Speicher 1a		
0040			020	Transportieren Zuschnitte		
0041			030	Speichern Zuschnitte, Speicher 2		
0042	0200	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 6-7, Lager		
0043			020	Transportieren Kernwerkstoffe MAT 6-7		
0044			002	Speichern Kernwerkstoffe MAT 6-7, Rohmat.speicher 2		
0045	0220	Station 1b, MAT 6, CNC-Fräsen	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 6, Rohmat.speicher 2		
0046			020	Grob zuschneiden		
0047			030	Positionieren Kernwerkstoffe MAT 6		
0048			040	Starbefehl geben		
0049			050	Werkzeugwechsel Fräskopf		
0050			060	Fräsen		
0051			070	Stopbefehl geben		
0052			080	Speichern Kerne MAT 7, Speicher 1b		
0053	0240	Station 1b, MAT 7, CNC-Fräsen	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 7, Rohmat.speicher 2		
0054			020	Grob zuschneiden		
0055			030	Positionieren Kernwerkstoffe MAT 7		
0056			040	Starbefehl geben		
0057			050	Werkzeugwechsel Fräskopf		
0058			060	Fräsen		
0059			070	Stopbefehl geben		
0060			080	Speichern Kerne MAT 7, Speicher 1b		
0061	0260	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Kerne, Speicher 1b		
0062			020	Transportieren Kerne		
0063			030	Speichern Kerne, Speicher 3		
0064	0300	Station 2 Preforms manuell Drapieren + Heißbügeln	005	Entnehmen Zuschnitte LRs, Speicher 2		
0065			010	Manuell Drapieren + Heißbügeln (LRs)		
0066			015	Nachbearbeiten LRs		
0067			020	Speichern LRs, Speicher 2		
0068			025	Entnehmen Zuschnitte Frames, Speicher 2		
0069			030	Manuell Drapieren + Heißbügeln (Frames)		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0070			035	Nachbearbeiten Frames		
0071			040	Speichern Frames, Speicher 2		
0072			045	Entnehmen Zuschnitte Verb.el., Speicher 2		
0073			050	Manuell Drapieren + Heißbügeln (Verb.el.)		
0074			055	Nachbearbeiten Verb.el.		
0075			060	Speichern Verb.el., Speicher 2		
0076	0350	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Preforms, Speicher 2		
0077			020	Transportieren Preforms		
0078			030	Speichern Preforms, Speicher 3		
0079	0400	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Pi-Kaufteile, Lager		
0080			015	Entnehmen Harzsystem MAT 8, Lager		
0081			020	Transportieren Pi-Kaufteile + Harzsystem MAT 8, Speicher 3		
0082			030	Speichern Pi-Kaufteile, Speicher 3		
0083			040	Speichern Harzsystem MAT 8, Harzspeicher		
0084	0500	Station 3, Framework, RTM	010	RTM-Prozess manuell		
0085			020	RTM-Prozess automatisiert		
0086			030	Nachbearbeiten Framework		
0087	0550	Speicher Entnahme + Transport + Lagerung	010	Entnehmen Framework		
0088			020	Transportieren Framework		
0089			030	Abgabe Framework, Lager		
Summe						

H4 F-Plan – Front-End Szenario 4

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0001	0050	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Rollenmat. MAT 9, Lager		
0002			020	Transportieren Rollenmat. MAT 9		
0003			030	Speichern Rollenmat. MAT 9, Rohmat.speicher 1		
0004	0100	Station 1a, MAT 9, autom. Zuschneiden	010	Entnehmen Rollenmat. 9, Rohmat.speicher 1		
0005			020	Startbefehl geben		
0006			030	Fördern		
0007			040	Kennzeichnen		
0008			050	Zuschneiden		
0009			060	Stopbefehl geben		
0010			070	Speichern Zuschnitte MAT 9, Speicher 1a		
0011	0150	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Zuschnitte MAT 9, Speicher 1a		
0012			020	Transportieren Zuschnitte MAT 9		
0013			030	Speichern Zuschnitte MAT 9, Speicher 2		
0014	0200	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 10-11, Lager		
0015			020	Transportieren Kernwerkstoffe MAT 10-11		
0016			030	Speichern Kernwerkstoffe MAT 10-11, Rohmat.speicher 2		
0017	0220	Station 1b, MAT 10, CNC-Fräsen	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 10, Rohmat.speicher 2		
0018			020	Grob zuschneiden		
0019			030	Positionieren Kernwerkstoffe MAT 10		
0020			040	Starbefehl geben		
0021			050	Werkzeugwechsel Fräskopf		
0022			060	Fräsen		
0023			070	Stopbefehl geben		
0024			080	Speichern Kerne MAT 10, Speicher 1b		
0025	0240	Station 1b, MAT 11, CNC-Fräsen	010	Entnehmen Kernwerkstoffe MAT 11, Rohmat.speicher 2		
0026			020	Grob zuschneiden		
0027			030	Positionieren Kernwerkstoffe MAT 11		
0028			040	Starbefehl geben		
0029			050	Werkzeugwechsel Fräskopf		
0030			060	Fräsen		
0031			070	Stopbefehl geben		
0032			080	Speichern Kerne MAT 11, Speicher 1b		
0033	0250	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Kerne, Speicher 1b		
0034			020	Transportieren Kerne		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0035			030	Speichern Kerne, Speicher 2		
0036	0260	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Rollenmat. (Folien + Tape), Lager		
0037			020	Transportieren Rollenmat. (Folien + Tape)		
0038			030	Speichern Rollenmat. (Folien + Tape), Rohmat.speicher 3		
0039	0300	Station 2 Manuell Prepregs Legen & Kompaktieren	005	Entnehmen Zuschnitte LRs + Kerne, Speicher 2		
0040			010	Entnehmen Folien + Tape, Rohmat.speicher 3		
0041			015	Prepregs Legen & Kompaktieren (LRs)		
0042			020	Speichern LRs, Speicher 2		
0043			025	Entnehmen Zuschnitte Frames + Kerne, Speicher 2		
0044			030	Entnehmen Folien + Tape, Rohmat.speicher 3		
0045			035	Prepregs Legen & Kompaktieren (Frames)		
0046			040	Speichern Frames, Speicher 2		
0047			045	Entnehmen Zuschnitte Verb.el., Speicher 2		
0048			050	Entnehmen Folien + Tape, Rohmat.speicher 3		
0049			055	Prepregs Legen & Kompaktieren (Verb.el.)		
0050			060	Speichern Verb.el., Speicher 2		
0051	0350	Speicher Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Preforms, Speicher 2		
0052			020	Transportieren Preforms		
0053			030	Speichern Preforms, Speicher 3		
0054	0400	Station 3 Autoklaven-Fertigung	010	Autoklav-Prozess manuell		
0055			020	Autoklav-Prozess maschinell		
0056			030	Nachbearbeiten Montageteile		
0057	0420	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Klebekartuschen MAT 18, Lager		
0058			020	Entnehmen Niete MAT 19, Lager		
0059			030	Transportieren Niete MAT 19		
0060			040	Speichern Klebekartuschen MAT 18, Speicher		
0061			050	Speichern Niete MAT 19		
0062	0450	Speicher Entnahme + Transport + Lagerung	010	Entnehmen Montageteile, Speicher 3		
0063			020	Transportieren Montageteile		
0064			030	Speichern Montageteile, Speicher 4		
0065	0500	Station 4, Montage Framework	010	Entnahme Montageteile, Speicher 4		
0066			020	Manuelle Oberflächenvorbehandlung		
0067			030	Einspannen Montageteile		
0068			035	Einlegen / Austausch Klebekartusche MAT 19		
0069			040	Shimmen Montageteile		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0070			050	Fügen Framework		
0071			060	Aushärten Framework		
0072			070	Nieten Framework		
0073			080	Nachbearbeiten Framework		
0074	0550	Speicher Entnahme + Transport + Lagerung	010	Entnehmen Framework		
0075			020	Transportieren Framework		
0076			030	Abgabe Framework, Lager		
Summe						

H5 F-Plan – Back-End Szenario 1.1

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0001	0050	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Montageteile + Klebekartuschen MAT 19		
0002			020	Transportieren Montageteile + Klebekartuschen MAT 19		
0003			030	Speichern Montageteile + Klebekartuschen MAT 19		
0004	0100	Montagevorbehandlung Frame A + Framework	010	Entnehmen + Positionieren Frame A		
0005			015	Einlegen Klebekartuschen Mat 19		
0006			020	Startbefehl-1 geben		
0007			025	Einspannen Frame A II Halten R1		
0008			030	Aufnehmen Framework		
0009			040	Werkzeugwechsel-1 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0010			050	Plasmaaktivieren Frame A + Framework II Halten R1		
0011	0150	Montage, Kleben/Fügen/Aushärten FrameA + Framework	010	Werkzeugwechsel-1 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0012			015	Kleben FrameA + Framework II Halten R1		
0013			020	Fügen FrameA + Framework II Halten R2		
0014			030	Werkzeugwechsel-1 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0015			035	Induktionshärten FrameA + Framework II Halten R1		
0016			050	Lösen Framework A II Halten R1 + R2		
0017			070	Bewegen Framework A auf neue Pose II Halten R2		
0018			080	Stopbefehl-1 geben II Halten R1 + R2		
0019	0200	Montagevorbehandlung FrameC	010	Entnehmen + Positionieren FrameC II Halten R1 + R2		
0020			020	Startbefehl-2 geben II Halten R1 + R2		
0021			025	Einspannen Frame C II Halten R1 + R2		
0022			030	Werkzeugwechsel-2 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0023			040	Plasmaaktivieren FrameC + Framework A II Halten R1		
0024	0250	Montage Kleben/Fügen/Aushärten FrameC + Framework	010	Werkzeugwechsel-2 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0025			015	Kleben FrameC + Framework A II Halten R1		
0026			020	Fügen FrameC + Framework A II Halten R2		
0027			030	Werkzeugwechsel-2 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0028			035	Induktionshärten FrameC + Framework A II Halten R1		
0029			050	Lösen Framework A, C II Halten R1 + R2		
0030			070	Rotieren Framework A, C auf neue Pose II Halten R2		
0031			080	Stopbefehl-2 geben II Halten R1 + R2		
0032	0300	Montagevorbehandlung FrameB	010	Entnehmen + Positionieren FrameB II Halten R1 + R2		
0033			020	Startbefehl-3 geben II Halten R1 + R2		
0034			025	Einspannen Frame B II Halten R1 + R2		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0035			030	Werkzeugwechsel-3 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0036			040	Plasmaaktivieren FrameB + Framework A, C II Halten R1		
0037	0350	Montage Kleben/Fügen/Aushärten FrameB + Framework	010	Werkzeugwechsel-3 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0038			015	Kleben FrameB + Framework A, C II Halten R1		
0039			020	Fügen FrameB + Framework A, C II Halten R2		
0040			030	Werkzeugwechsel-3 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0041			035	Induktionshärten FrameB + Framework A, C II Halten R1		
0042			050	Lösen Framework A, B, C II Halten R1 + R2		
0043			070	Bewege Framework A, B, C auf neue Pose II Halten R2		
0044			080	Stopbefehl-3 geben II Halten R1 + R2		
0045	0400	Montagevorbehandlung FrameD	010	Entnehmen + Positionieren FrameD II Halten R1 + R2		
0046			020	Startbefehl-4 geben II Halten R1 + R2		
0047			025	Einspannen Frame D II Halten R1 + R2		
0048			030	Werkzeugwechsel-4 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0049			040	Plasmaaktivieren FrameD + Framework A, B, C II Halten R1		
0050	0450	Montage Kleben/Fügen/Aushärten FrameD + Framework	010	Werkzeugwechsel-4 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0051			015	Kleben FrameD + Framework A, B, C II Halten R1		
0052			020	Fügen FrameD + Framework A, B, C II Halten R2		
0053			030	Werkzeugwechsel-4 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0054			035	Induktionshärten FrameD + Framework A, B, C II Halten R1		
0055			050	Lösen Framework A-D II Halten R1 + R2		
0056			070	Bewege Framework A-D auf neue Pose II Halten R2		
0057			080	Stopbefehl-4 geben II Halten R1 + R2		
0058	0500	Montagevorbehandlung mont. Framework + Bodenschale	010	Entnehmen + Positionieren Bodenschale II Halten R1 + R2		
0059			015	Austausch Klebekartuschen MAT 19 II Halten R1 + R2		
0060			020	Startbefehl-5 geben II Halten R1 + R2		
0061			025	Einspannen Bodenschale II Halten R1 + R2		
0062			030	Werkzeugwechsel-5 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0063			040	Plasmaaktivieren Framework A-D + Bodenschale II Halten R1		
0064	0550	Montage Kleben/Fügen/Aushärten mont. Framework + Bodenschale	010	Werkzeugwechsel-5 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0065			020	Kleben Framework A-D + Bodenschale II Halten R1		
0066			030	Fügen Framework A-D + Bodenschale II Halten R2		
0067			035	Lösen Greifer-Framework II Halten R2		
0068			040	Werkzeugwechsel Induktionskopf (IEK)		
0069			050	Induktionshärten Framework A-D + Bodenschale		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0070			055	Ablegen Induktionskopf (IEK)		
0071			060	Lösen Bodengruppe		
0072			065	Aufnehmen Greifer-Framework		
0073			070	Stopbefehl-5 geben II Halten R1		
0074			080	Entladen Klebekartuschen MAT 19		
0075	0600	Speicher Entnahme + Transport + Abgabe Lager	010	Entnehmen Bodengruppe		
0076			020	Transportieren Bodengruppe		
0077			030	Abgabe Bodengruppe		
Summe						

H6 F-Plan – Back-End Szenario 1.2

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0001	0050	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Montageteile + Klebekartuschen MAT 19		
0002			020	Transportieren Montageteile + Klebekartuschen MAT 19		
0003			030	Speichern Montageteile + Klebekartuschen MAT 19		
0004	0100	Montagevorbehandlung Frame A + C + Framework	010	Entnehmen + Positionieren Frame A + C		
0005			015	Einlegen Klebekartuschen MAT 19		
0006			020	Startbefehl-1 geben		
0007			025	Einspannen Frame A		
0008			030	Aufnehmen Framework		
0009			040	Werkzeugwechsel-1 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0010			050	Plasmaaktivieren Frame A + C + Framework II Halten R1		
0011	0200	Montage Kleben/Fügen/Aushärten Frame A + C + Framework	010	Werkzeugwechsel-1 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0012			015	Kleben Frame A + C + Framework II Halten R1		
0013			020	Fügen Frame A + C + Framework II Halten R2		
0014			030	Werkzeugwechsel-1 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0015			035	Induktionshärten Frame A + C + Framework II Halten R1		
0016			050	Lösen Framework A, C II Halten R1+ R2		
0017			070	Rotieren Framework A, C auf neue Position II Halten R2		
0018			080	Stopbefehl-1 geben II Halten R1 + R2		
0019	0300	Montagevorbehandlung Frame B + D	010	Entnehmen + Positionieren Frame B + D II Halten R1 + R2		
0020			020	Startbefehl-2 geben II Halten R1 + R2		
0021			025	Einspannen Frame B + D II Halten R1 + R2		
0022			030	Werkzeugwechsel-2 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0023			040	Plasmaaktivieren Frame B + D + Framework A, C II Halten R1		
0024	0400	Montage Kleben/Fügen/Aushärten Frame B + D + Framework	010	Werkzeugwechsel-2 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0025			015	Kleben Frame B + D + Framework A, C II Halten R1		
0026			020	Fügen Frame B + D + Framework A, C II Halten R2		
0027			030	Werkzeugwechsel-2 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0028			035	Induktionshärten Frame B + D + Framework A, C II Halten R1		
0029			050	Lösen Framework A-D II Halten R1 + R2		
0030			070	Bewegen Framework A-D auf neue Pose II Halten R2		
0031			080	Stopbefehl-2 geben II Halten R1 + R2		
0032	0500	Montagevorbehandlung mont. Framework + Bodenschale	010	Entnehmen + Positionieren Bodenschale II Halten R1 + R2		
0033			015	Austausch Klebekartuschen MAT 19 II Halten R1 + R2		
0034			020	Startbefehl-3 geben II Halten R1 + R2		

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0035			025	Einspannen Bodenschale II Halten R1 + R2		
0036			030	Werkzeugwechsel-3 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0037			040	Plasmaaktivieren Framework A-D + Bodenschale II Halten R1		
0038	0600	Montage Kleben/Fügen/Aushärten mont. Framework + Bodenschale	010	Werkzeugwechsel-3 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0039			020	Kleben Framework A-D + Bodenschale II Halten R1		
0040			030	Fügen Framework A-D + Bodenschale II Halten R2		
0041			035	Lösen Greifer-Framework II Halten R2		
0042			040	Werkzeugwechsel-3 Induktionskopf (IEK)		
0043			050	Induktionshärten Framework A-D + Bodenschale		
0044			055	Ablegen Induktionskopf (IEK)		
0045			060	Lösen Bodengruppe		
0046			065	Aufnehmen Greifer-Framework		
0047			070	Stopbefehl-3 geben II Halten R1		
0048			080	Entladen Klebekartuschen MAT 19		
0049	0700	Speicher Entnahme + Transport + Abgabe Lager	010	Entnehmen Bodengruppe		
0050			020	Transportieren Bodengruppe		
0051			030	Abgabe Bodengruppe		
Summe						

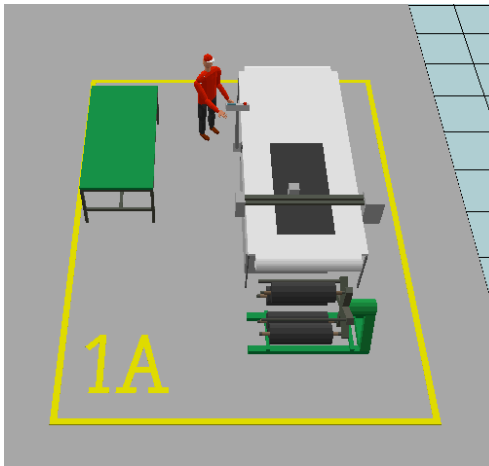
H7 F-Plan – Back-End Szenario 2

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0001	0050	Lager Entnahme + Transport + Speicherung	010	Entnehmen Montageteile + Klebekartuschen MAT 19		
0002			020	Transportieren Montageteile + Klebekartuschen MAT 19		
0003			030	Speichern Montageteile + Klebekartuschen MAT 19		
0004			040	Einlegen Klebekartuschen MAT 19		
0005	0100	Montagevorbehandlung Frame A+B+C+D + Framework	010	Startbefehl-1 geben		
0006			020	Aufnehmen Framework		
0007			030	Werkzeugwechsel-1 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0008			04	Plasmaaktivieren Frames A-D + Framework II Halten R1		
0009	0200	Montage Kleben/Fügen/Aushärten FrameA + Framework	010	Werkzeugwechsel-1 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0010			020	Kleben FrameA + Framework II Halten R1		
0011			030	Werkzeugwechsel-1 Framegreifer II Halten R1		
0012			040	Aufnehmen Frame A II Halten R1		
0013			050	Fügen FrameA + Framework II Halten R1		
0014			060	Werkzeugwechsel-1 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0015			070	Induktionshärten FrameA + Framework II Halten R1		
0016	0300	Montage Kleben/Fügen/Aushärten FrameC + Framework	010	Werkzeugwechsel-2 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0017			020	Kleben FrameC + Framework A II Halten R1		
0018			030	Werkzeugwechsel-2 Framegreifer II Halten R1		
0019			040	Aufnehmen FrameC II Halten R1		
0020			050	Fügen FrameC + Framework A II Halten R1		
0021			060	Werkzeugwechsel-2 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0022			070	Induktionshärten FrameC + Framework A II Halten R1		
0023			080	Rotiere Framework A,C auf neue Position II Halten R2		
0024	0400	Montage Kleben/Fügen/Aushärten FrameB + Framework	010	Werkzeugwechsel-3 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0025			020	Kleben FrameB + Framework A,C II Halten R1		
0026			030	Werkzeugwechsel-3 Framegreifer II Halten R1		
0027			040	Aufnehmen FrameB II Halten R1		
0028			050	Fügen FrameB + Framework A,C II Halten R1		
0029			060	Werkzeugwechsel-3 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0030			070	Induktionshärten FrameB + Framework A,C II Halten R1		
0031	0500	Montage Kleben/Fügen/Aushärten FrameD + Framework	010	Werkzeugwechsel-4 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0032			020	Kleben FrameD + Framework A,B,C II Halten R1		
0033			030	Werkzeugwechsel-4 Framegreifer II Halten R1		
0034			040	Aufnehmen FrameD II Halten R1		

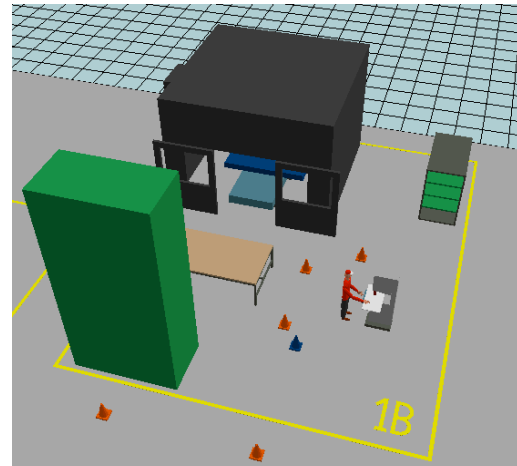
Fortsetzung auf der nächsten Seite.

Lft. Nr. [Excel]	Sort. Nr. [F-Plan]	Arbeitsplan	Sort. Nr. [AVO]	Prozess (Vorgang)	Zeitanteile	
					manuell [min]	masch [min]
0035			050	Fügen FrameD + Framework A,B,C II Halten R1		
0036			060	Werkzeugwechsel-4 Induktionskopf (IEK) II Halten R1		
0037			070	Induktionshärten FrameD + Framework A,B,C II Halten R1		
0038			080	Stopbefehl-1 geben II Halten R1 + R2		
0039	0600	Montagevorbehandlung mont. Framework + Bodenschale	010	Entnehmen + Positionieren Bodenschale II Halten R1 + R2		
0040			015	Austausch Klebekartuschen II Halten R1 + R2		
0041			020	Startbefehl-2 geben II Halten R1 + R2		
0042			025	Einspannen Bodenschale		
0043			030	Werkzeugwechsel-2 Plasmakopf (ADP) II Halten R1		
0044			040	Plasmaaktivieren Framework A-D + Bodenschale II Halten R1		
0045	0700	Montage Kleben/Fügen/Aushärten mont. Framework + Bodenschale	010	Werkzeugwechsel-5 Klebekopf (KAK) II Halten R1		
0046			020	Kleben Framework A-D + Bodenschale II Halten R1		
0047			030	Fügen Framework A-D und Bodenschale II Halten R2		
0048			035	Lösen Greifer-Framework II Halten R2		
0049			040	Werkzeugwechsel-5 Induktionskopf (IEK)		
0050			050	Induktionshärten Framework A-D + Bodenschale		
0051			055	Ablegen Induktionskopf (IEK)		
0052			060	Lösen Bodengruppe		
0053			065	Aufnehmen Greifer-Framework		
0054			060	Stopbefehl-2 geben II Halten R1 + R2		
0055			080	Entladen Klebekartuschen MAT 19		
0056	0800	Speicher Entnahme + Transport + Abgabe Lager	010	Entnehmen Bodengruppe		
0057			020	Transportieren Bodengruppe		
0058			030	Abgabe Bodengruppe		
Summe						

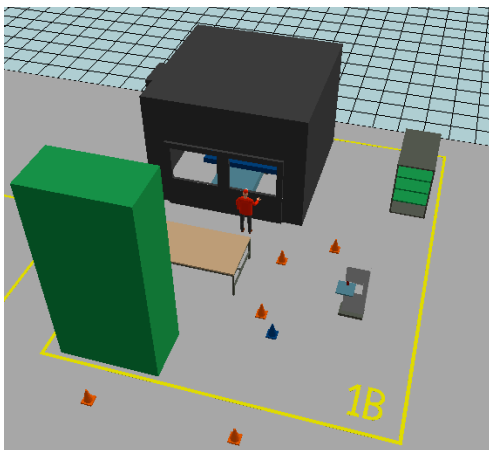
I1 Simulationssequenzen – Front-End Szenarien



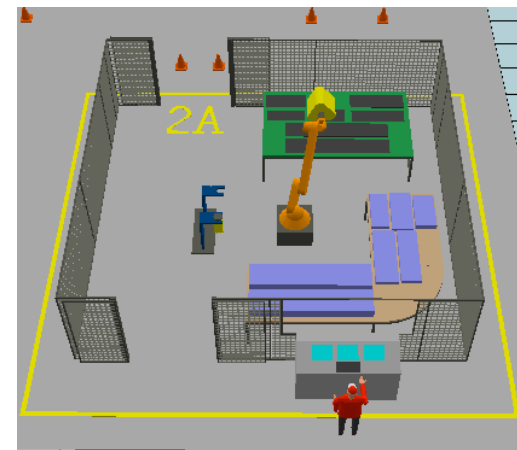
Zuschneiden Faserlagen



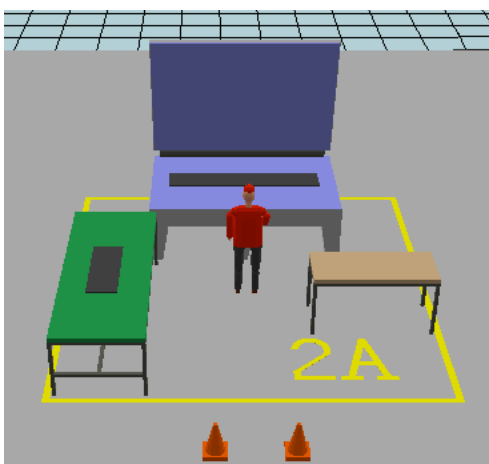
Grob Zuschneiden Kernwerkstoffe



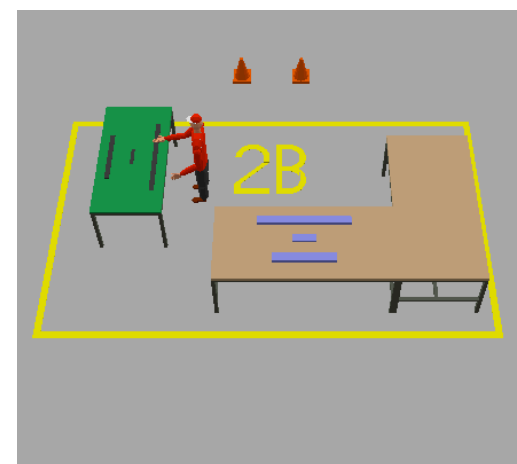
CNC-Fräsen Kerne auf Endmaß



Automatisiert Pick & Drape Preforms nach [33, 34]

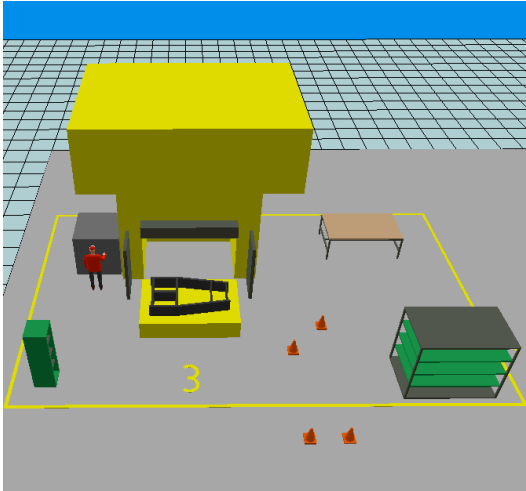


Single Diaphragma Preforms

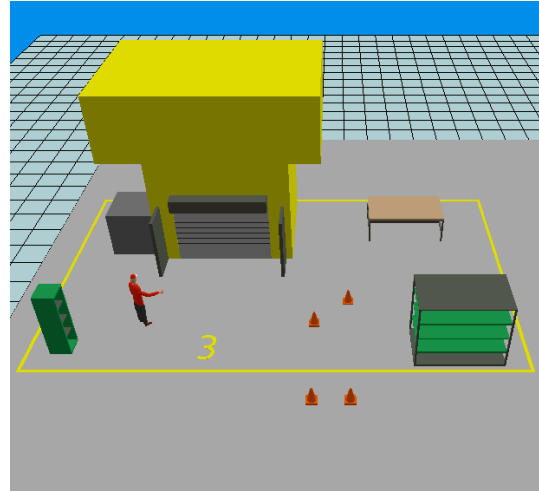


Manuell Drapieren (Heißbügeln) Preforms

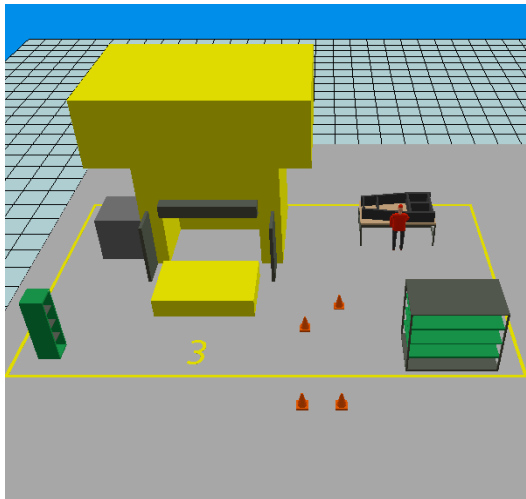
Fortsetzung auf der nächsten Seite.



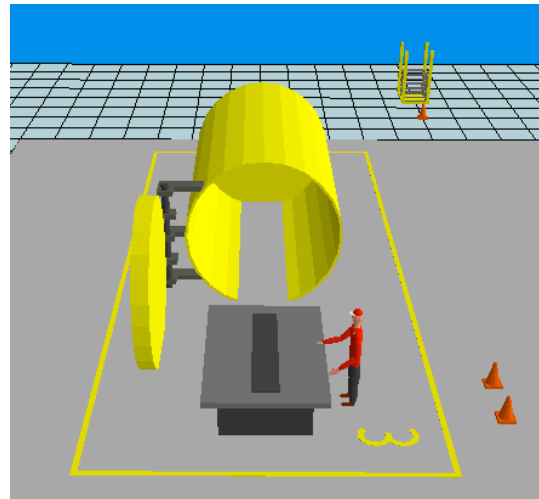
RTM-Prozess - manuell



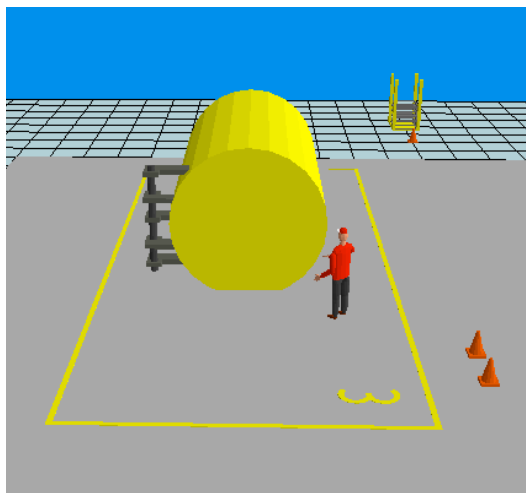
RTM-Prozess - automatisiert



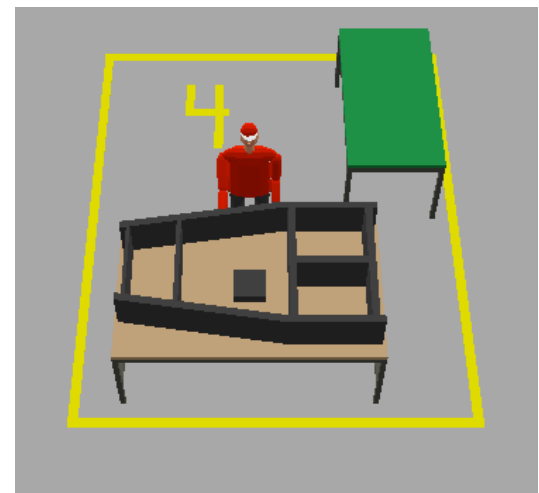
Nacharbeit Framework



Autoklav-Prozess - manuell

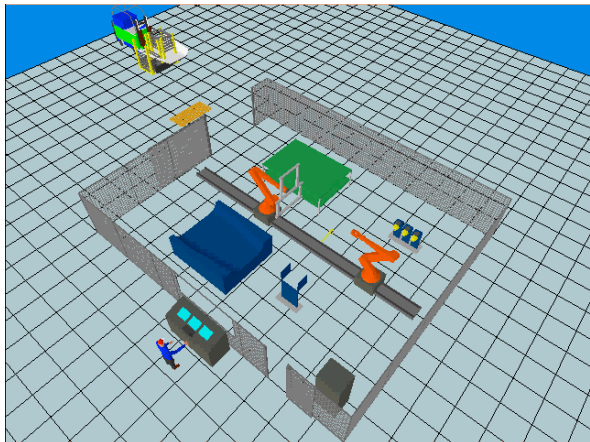


Autoklav-Prozess - automatisiert

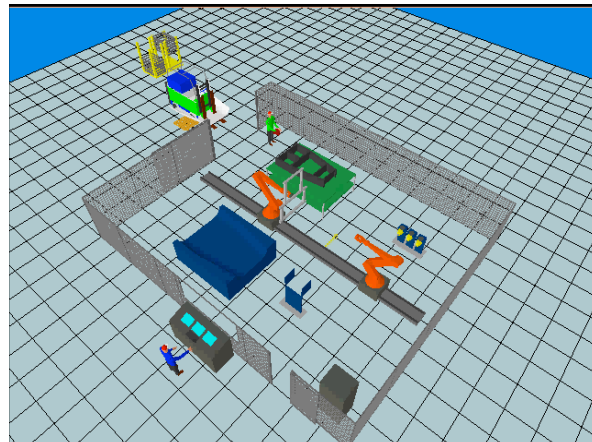


Manuelle Montage Framework

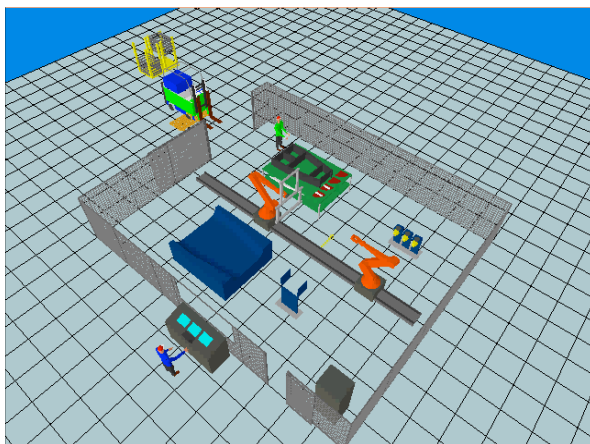
I2 Sequenzausschnitte – Back-End Szenarien



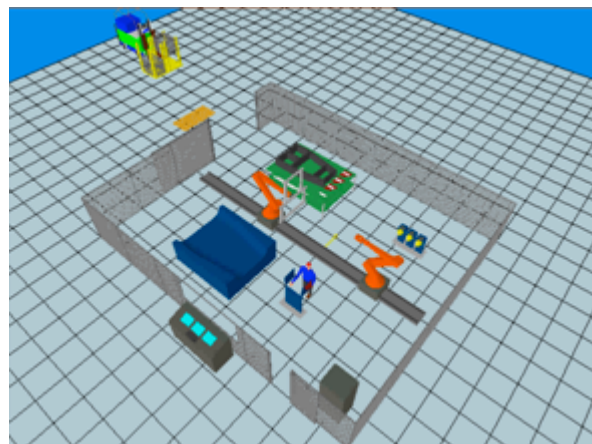
Lager Entnahme und Transport Montageteile



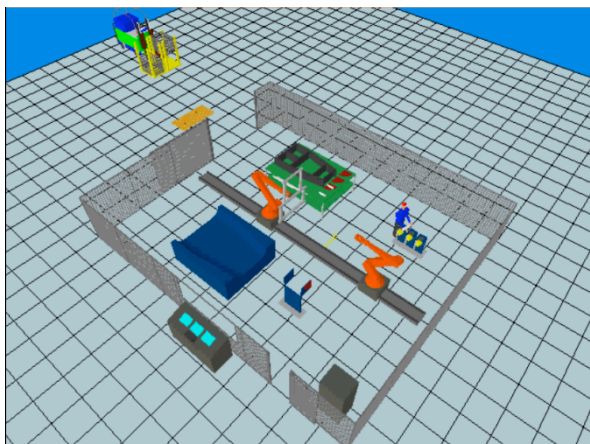
Speichern Montageteile



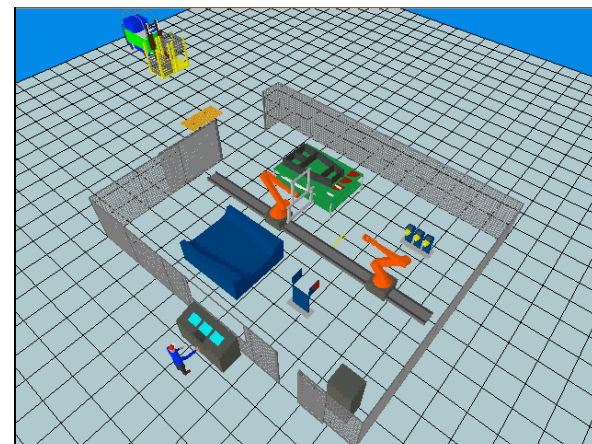
Speichern Klebekartuschen



Einspannen Frame (A-D)

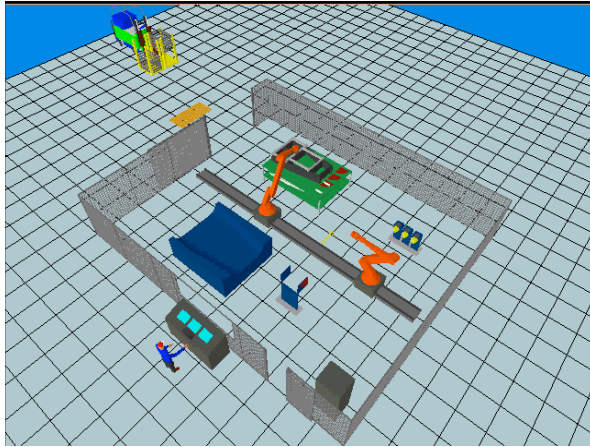


Einlegen Klebekartuschen

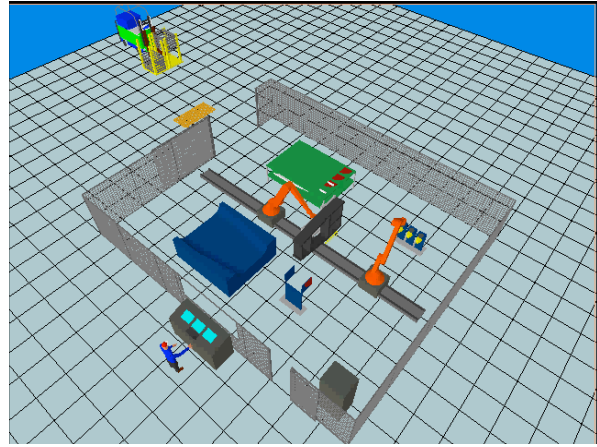


Startbefehl

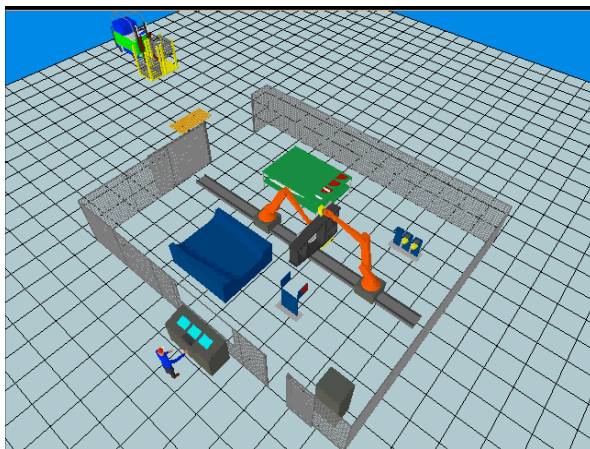
Fortsetzung auf der nächsten Seite.



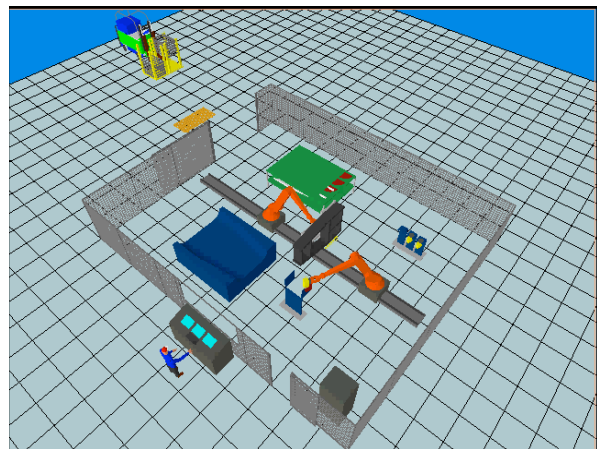
Aufnehmen Framework



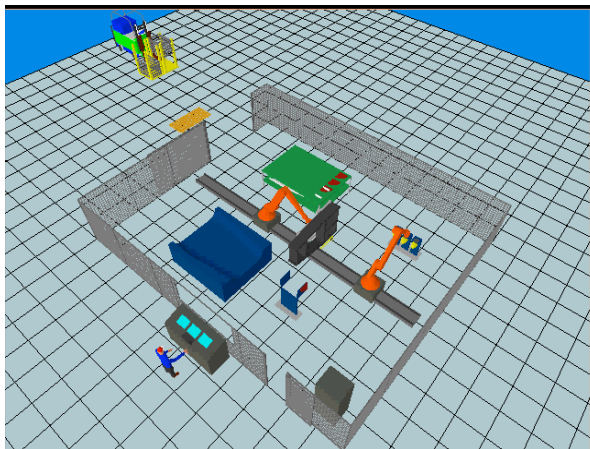
Aufnehmen Plasmakopf



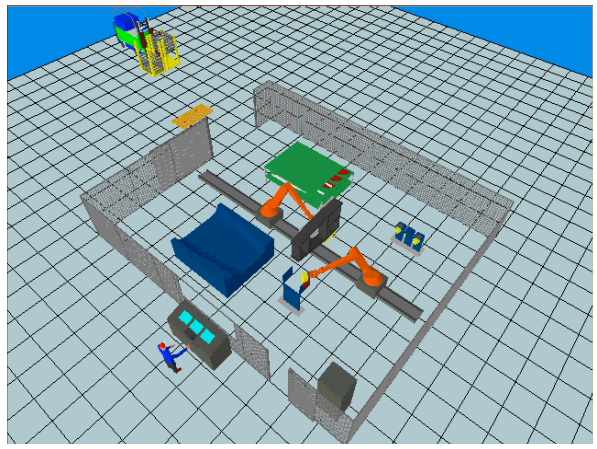
Plasmaaktivieren Framework



Plasmaaktivieren Frame (A-D)

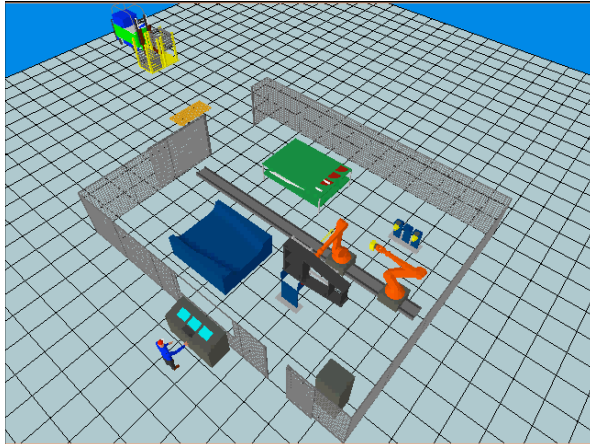


Werkzeugwechsel Klebekopf

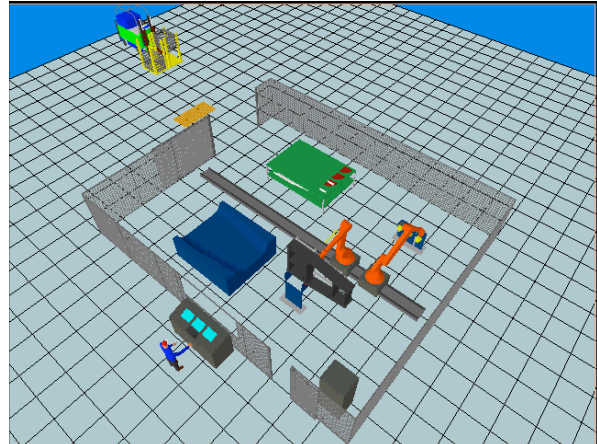


Klebstoffauftrag Frame (A-D)

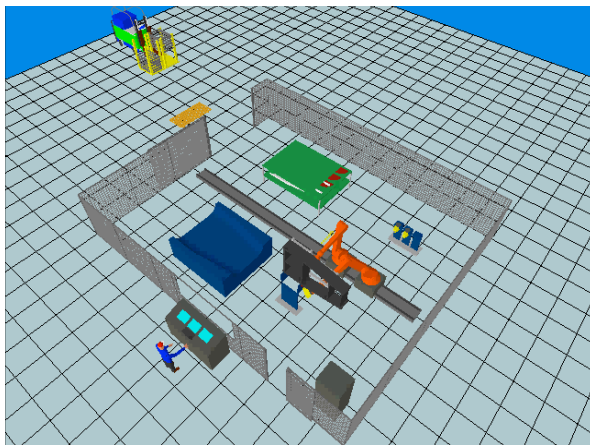
Fortsetzung auf der nächsten Seite.



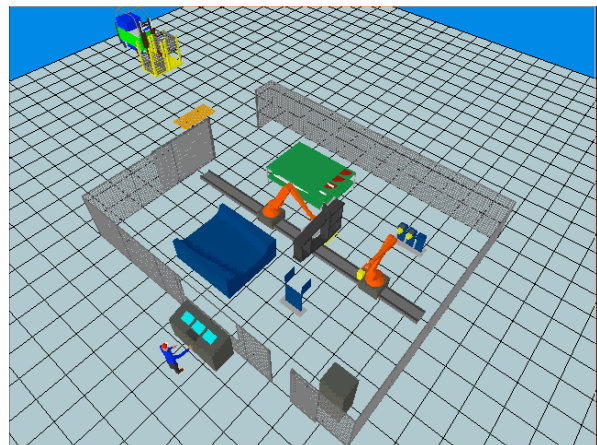
Fügen Frame (A-D) mit Framework



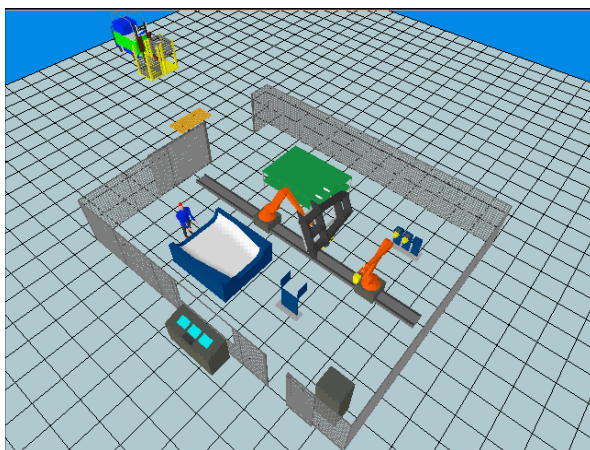
Werkzeugwechsel Induktionskopf



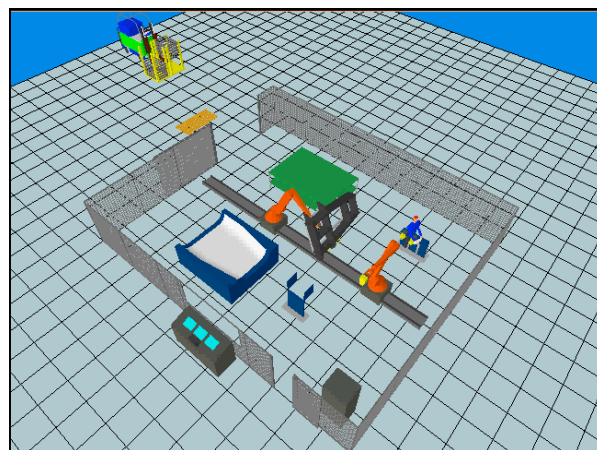
Induktionshärten Frame (A-D) mit Framework



Stoppbefehl

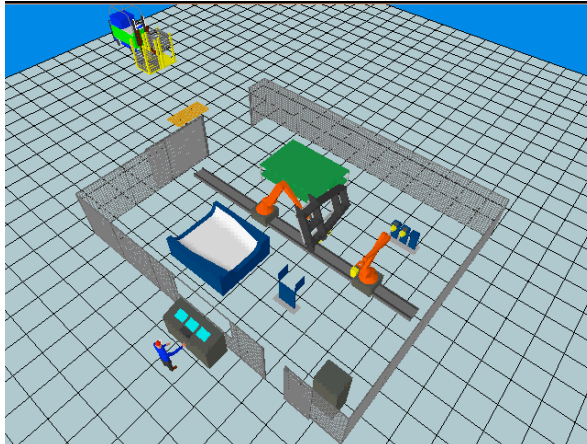


Positionieren Bodenschale

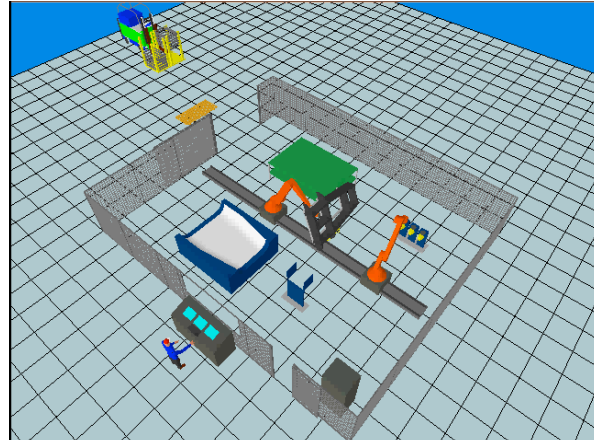


Austausch Klebekartuschen

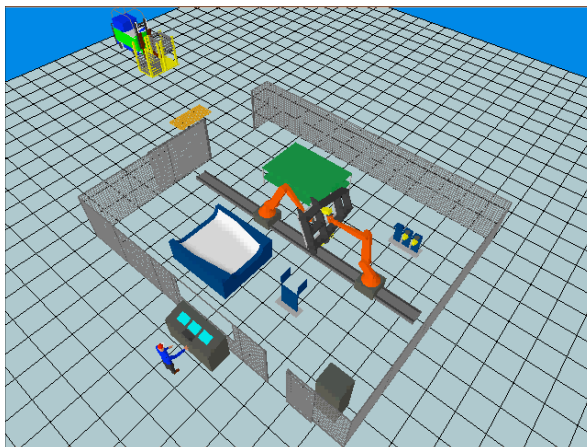
Fortsetzung auf der nächsten Seite.



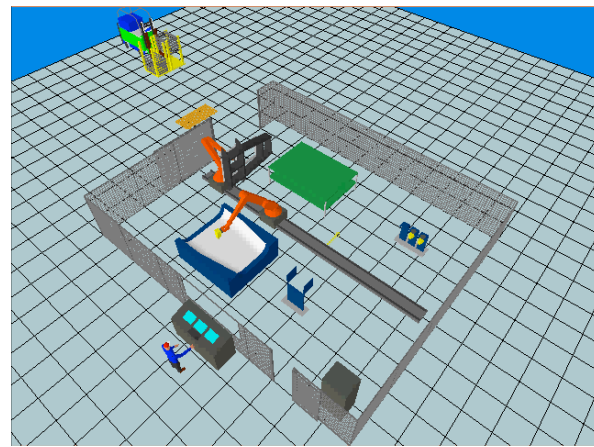
Startbefehl



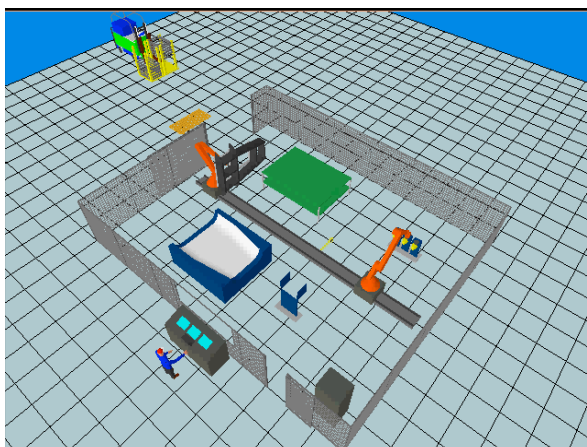
Werkzeugwechsel Plasmakopf



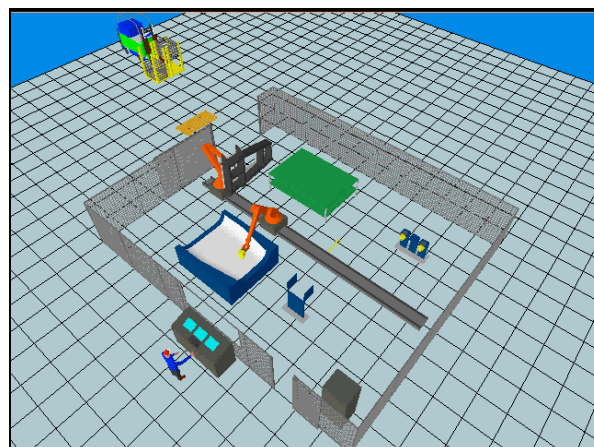
Plasmaaktivieren montiertes Framework



Plasmaaktivieren Bodenschale

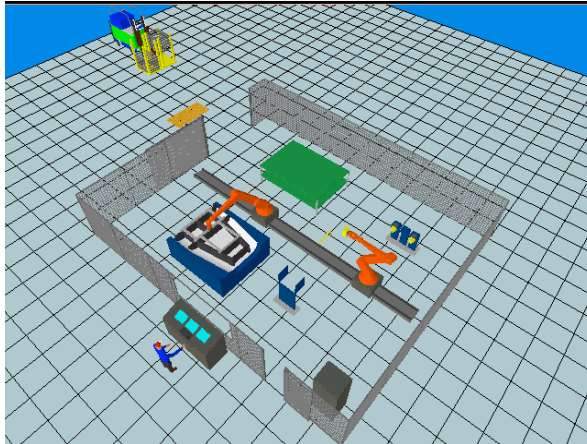


Werkzeugwechsel Klebekopf

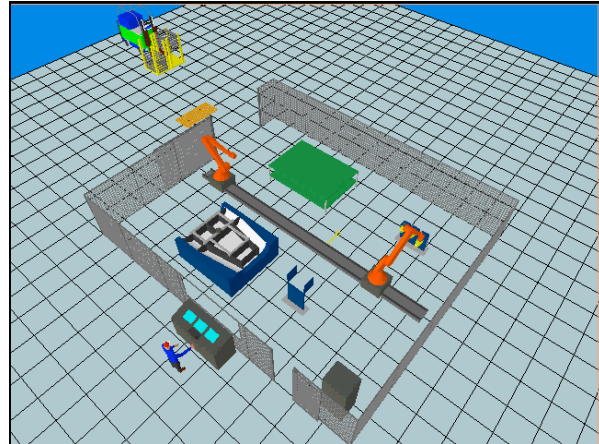


Klebstoffauftrag Bodenschale

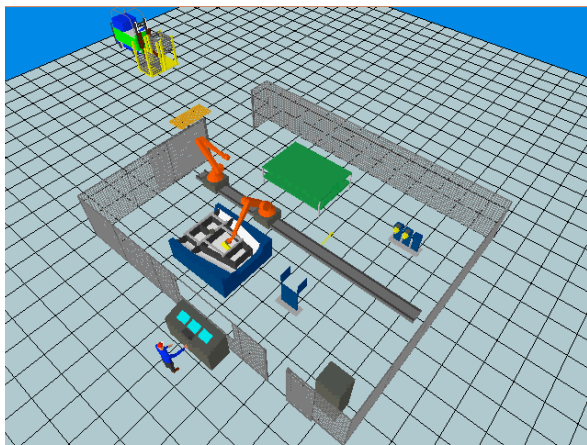
Fortsetzung auf der nächsten Seite.



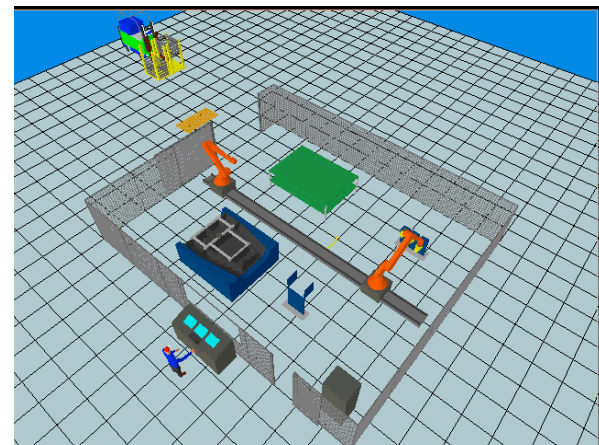
Fügen montiertes Framework mit Bodenschale



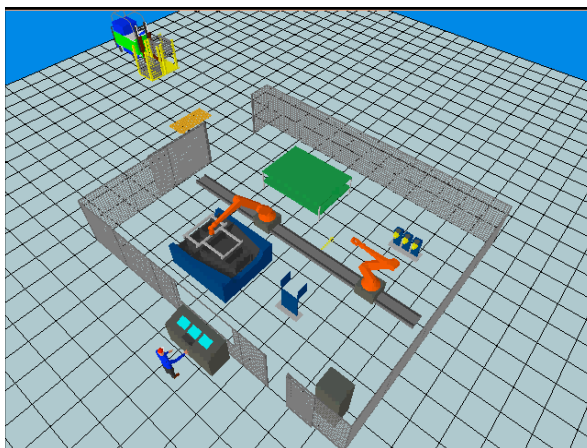
Werkzeugwechsel Induktionskopf



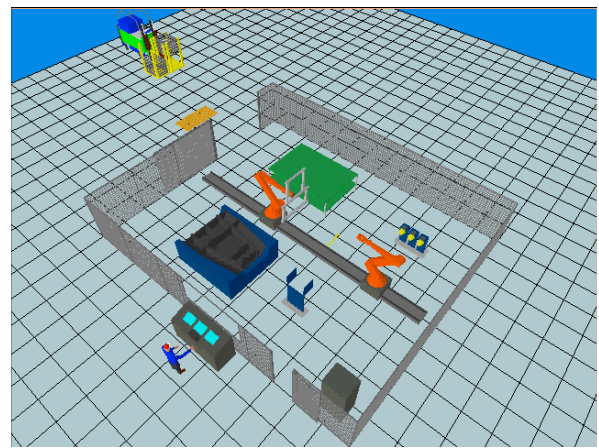
Induktionshärten Bodengruppe



Ablegen Induktionskopf

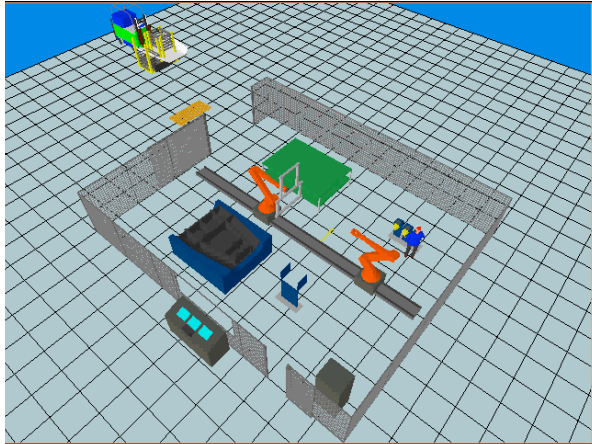


Aufnehmen Framework-Greifer

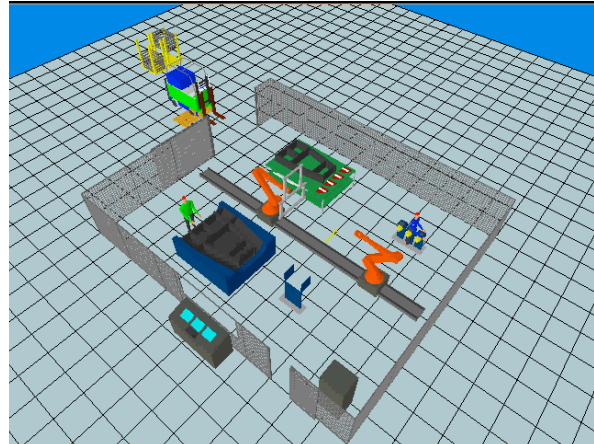


Stoppbefehl

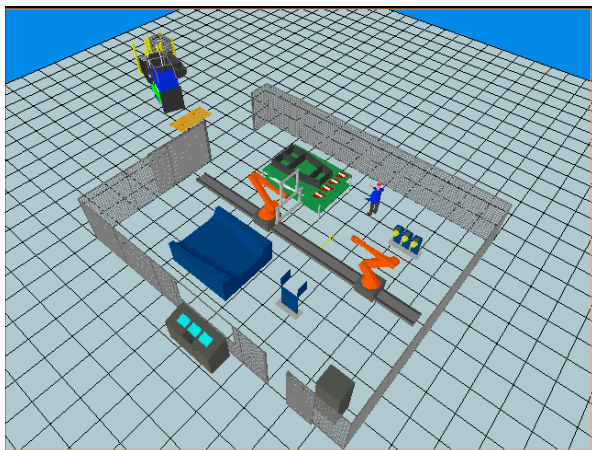
Fortsetzung auf der nächsten Seite.



Entladen Klebekartuschen



Entnahme Bodengruppe



Transport und Abgabe Bodengruppe

J1 Formeln – Front-End

$$F_1 = L \times B$$

F₁: Fläche 1 [m²]
 L: Länge Faserlage
 B: Breite Faserlage

$$F_2 = F_1 \times (1 + Vs)$$

F₂: Fläche 2 [m²]
 Vs: Verschnitt [%]

$$Sf = B_{Rm} \times L_{Sf}$$

Sf: Schneidfenster [m²]
 B_{Rm}: Breite Rollenmaterial [m]
 L_{Sf}: Länge Schneidfenster [m]

$$n_F = \frac{F_2}{Sf}$$

n_F: Anzahl Förderungen

$$t_f = \sum_{i=1}^m n_F(i) \times Ft$$

t_f: Prozesszeit Fördern [min]
 Ft: Förderzeit [min]
 m: Vielzahl Fasertypen

$$t_k = \sum_{i=1}^m n_M(i) \times Mt$$

t_k: Prozesszeit Kennzeichnen [min]
 n_M: Anzahl Markierungen
 M_t: Markierzeit [min/Markierung]

$$Sl = 2 \times (L + B)$$

Sl: Schnittlänge [m]

$$t_z = \frac{Sl}{V_{fz}}$$

t_z: Prozesszeit Zuschneiden [min]
 V_{fz}: Vorschubgeschwindigkeit Zuschneiden [m/min]

$$l_{gz} = Sl \times (1 + \ddot{u})$$

l_{gz}: Verfahrensweg Grob-Zuschnitt [m]
 ü: Faktor Überlänge (Annahme: ü = 5%)

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

$$t_{GZ} = \frac{Sl}{V_s} + t_{PA}$$

t_{GZ} : Prozesszeit Grob Zuschneiden [min]
 V_s : Schnittgeschwindigkeit [m/min]
 t_{PA} : Positionierzeit Annahme [min]

$$Sl = 2 \times (L + B)$$

Sl : Schnittlänge je Kern [m]
 L : Länge Kern [m]
 B : Breite Kern [m]

$$t_{fr} = \sum_{i=1}^m t_{PA} + \frac{\sum_{i=1}^m Sl(i)}{V_{ff} \times n_k \times n_{FZ}}$$

t_{fr} : Prozesszeit Fräsen [min]
 t_{PA} : Positionierzeit Annahme [min]
 V_{ff} : Vorschubgeschwindigkeit Fräsen [m/min]
 n_k : Anzahl Kerne
 n_{FZ} : Anzahl Fräszyklen
 ($n_{FZ} = 1$; bei einer Schnitttiefe von bis zu 55 mm)
 m : Vielzahl Kernwerkstofftypen

$$t_{auf} = \frac{l_f}{V_{auf}}$$

t_{auf} : Zeitbedarf zur Lagenaufnahme [min]
 l_f : Lagenlänge [m]
 V_{auf} : Aufnahmegegeschwindigkeit [m/min]

$$t_{ab} = \frac{l_f}{V_{ab}}$$

t_{ab} : Zeitbedarf zur Lagenablage [min]
 V_{ab} : Ablagegeschwindigkeit [m/min]

$$t_{pd} = t_{PG} + t_{auf} + t_{ab}$$

t_{pd} : Prozesszeit Pick & Drape [min]
 t_{PG} : Gemessene Positionierzeit [min]

$$t_{pw} = t_s + t_{PA}$$

t_{pw} : Prozesszeit Pick & Weld [min]
 t_s : Schweißzeit [min]
 t_{PA} : Positionierzeit Annahme [min]

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

$$t_{mSD} = K_m \times \sum_{i=1}^m F_{ES}(i)$$

t_m : Maschinenzeit [min]
 K_m : Faktor Maschinenzeit [min/m²]
 F_{ES} : Fläche Einzelschichten Preform(s) [m²]
 m : Vielzahl der Einzelschichten

$$t_{pSD} = K_p \times \sum_{i=1}^m F_{ES}(i)$$

t_{pSD} : Personalzeit [min]
 K_p : Faktor Personalzeit [min/m²]

$$t_{sd} = t_{pSD} + t_{mSD}$$

t_{sd} : Prozesszeit Single-Diaphragma [min]

$$t_{md} = F_f \times C_{md} \times K_f + \frac{A_f}{A_b} \times t_h$$

t_{md} : Prozesszeit Manuell Drapieren [min]
 F_f : Fläche Fasermaterial [m²]
 C_d : Drapierkonstante [min/m²]
 K_f : Korrekturfaktor
 $K_{f \{Longerons, Frames\}} = 1$
 $K_{f \{Verbindungselemente\}} = 2$
 A_f : Fläche Fasermaterial [m²]
 A_b : Fläche Bügeleisen [m²]
 t_h : Heißbügelzeit [min]

$$t_h = \frac{T_2 - T_1}{Hz} \times K_h$$

T_2 : Solltemperatur [°C]
 T_1 : Zieltemperatur [°C]
 Hz : Heizrate [°C/min]
 K_h : Faktor Haltezeit

J2 Formeln – Back-End

$$t_{pa} = \frac{\sum_{i=1}^m n(i) \times L_b}{V_{fp}} + t_{pA}$$

t_{pa} :	Prozesszeit Plasmaaktivierung [min]
n :	Anzahl Bahnzyklen
L_b :	Länge Behandlungsoberfläche [m]
V_{fp} :	Vorschubgeschwindigkeit Plasmakopf [m/min]
t_{pA} :	Positionierzeit Annahme [min]
m :	Vielzahl Preformtypen

$$n = \frac{B_b}{b} \times N$$

B_b :	Breite Behandlungsoberfläche [m]
b :	Behandlungsbreite Plasmaaktivierung [m]
N :	Anzahl Montageteile

$$t_k = \frac{\sum_{i=1}^m n(i) \times L_b}{V_{fk}} + t_{pA}$$

t_k :	Prozesszeit Kleben [min]
V_{fk} :	Vorschubgeschwindigkeit Klebedüse [m/min]
t_{pA} :	Positionierzeit Annahme [min]

$$t_{sc} = t_{pA} + t_{pB} + t_{hi}$$

t_{sc} :	Prozesszeit Spot Curing [min]
t_{pA} :	Positionierzeit Annahme [min]
t_{pB} :	Berechnete Positionierzeit [min]
t_{hi} :	Haltezeit Induktionshärten [min]

$$t_{pB} = l_{pp} \times V_{fi}$$

l_{pp} :	Verfahrweg Pose-Pose [m]
V_{fi} :	Vorschub Induktionskopf [m/min]

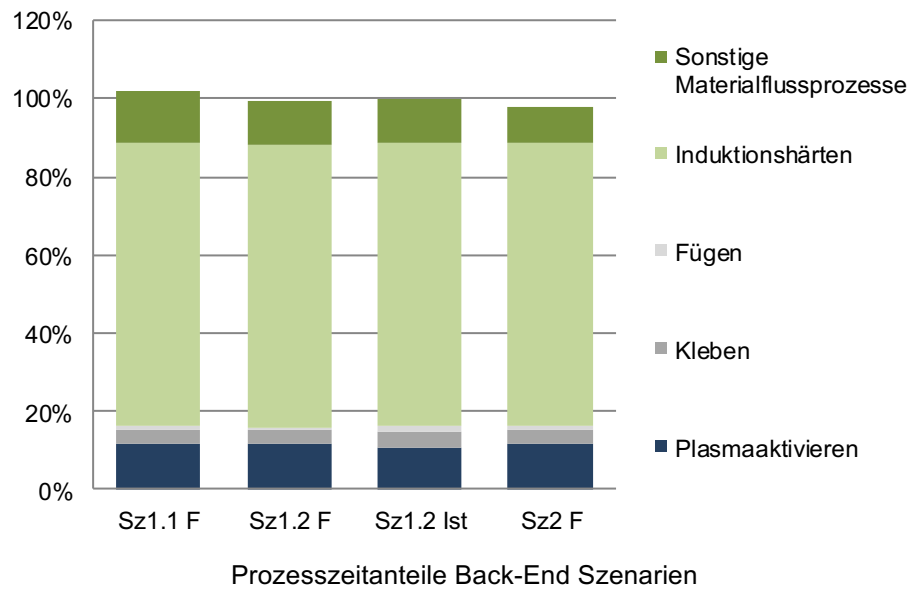
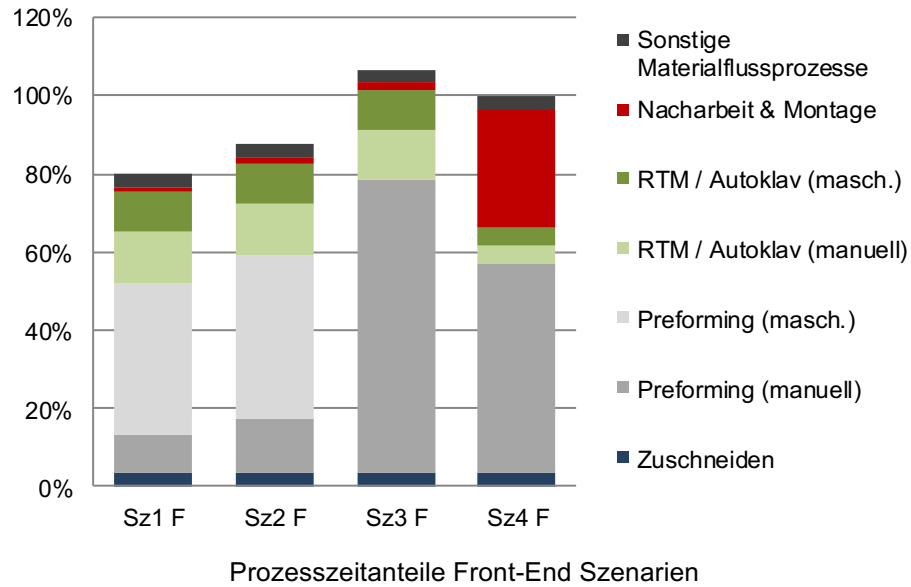
$$t_{hi} = n_a \times t_{h1}$$

n_a :	Anzahl Aushärtepunkte
t_{h1} :	Durchschnittliche Aushärtezeit [min]

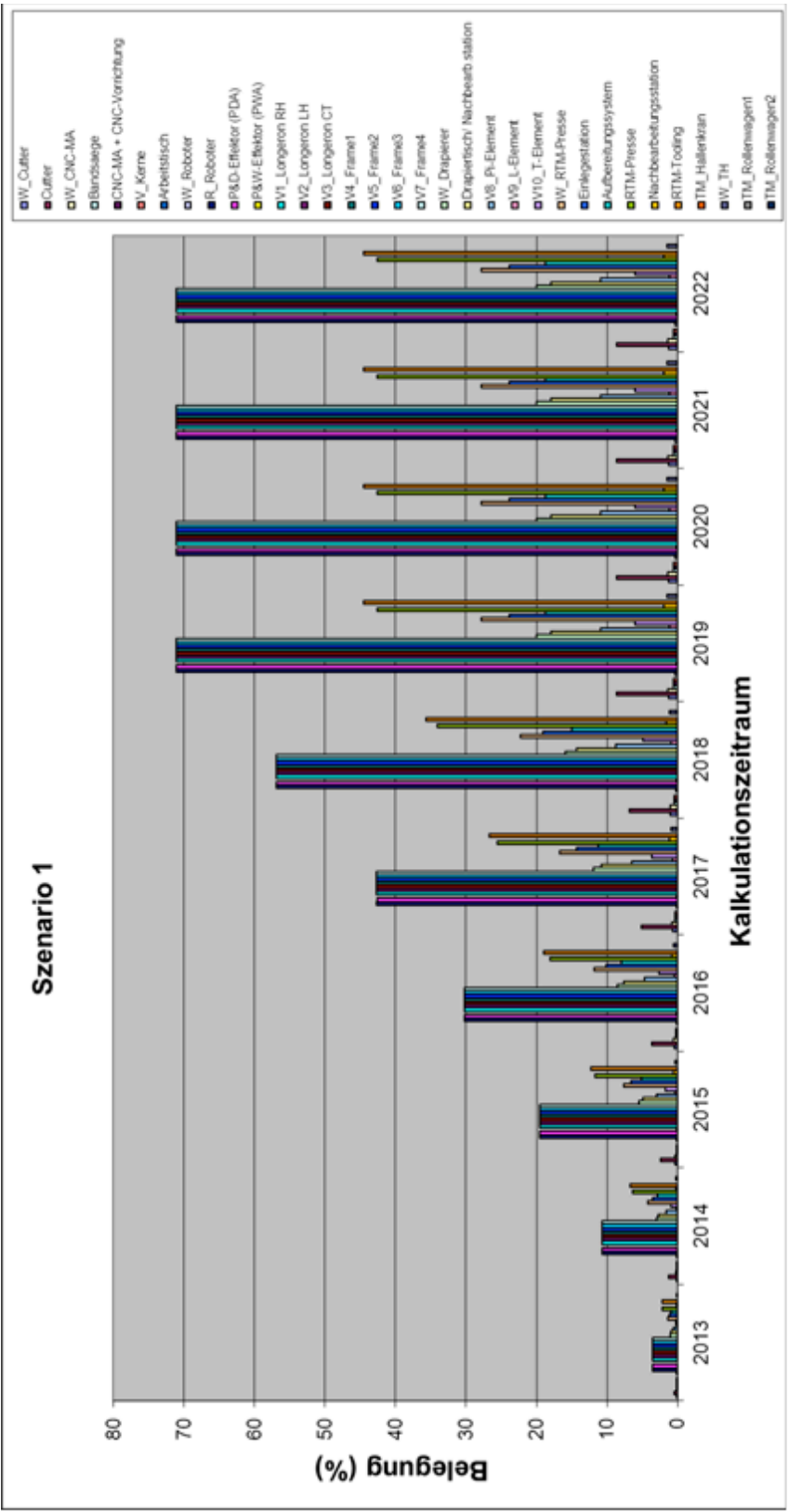
$$t_{h1} = \frac{T_2 - T_1}{Hz} + t_{h2}$$

T_2 :	Solltemperatur [°C]
T_1 :	Zieltemperatur [°C]
Hz :	Heizrate [°C/min]
t_{h2} :	Haltezeit beim Induktionshärten [min]

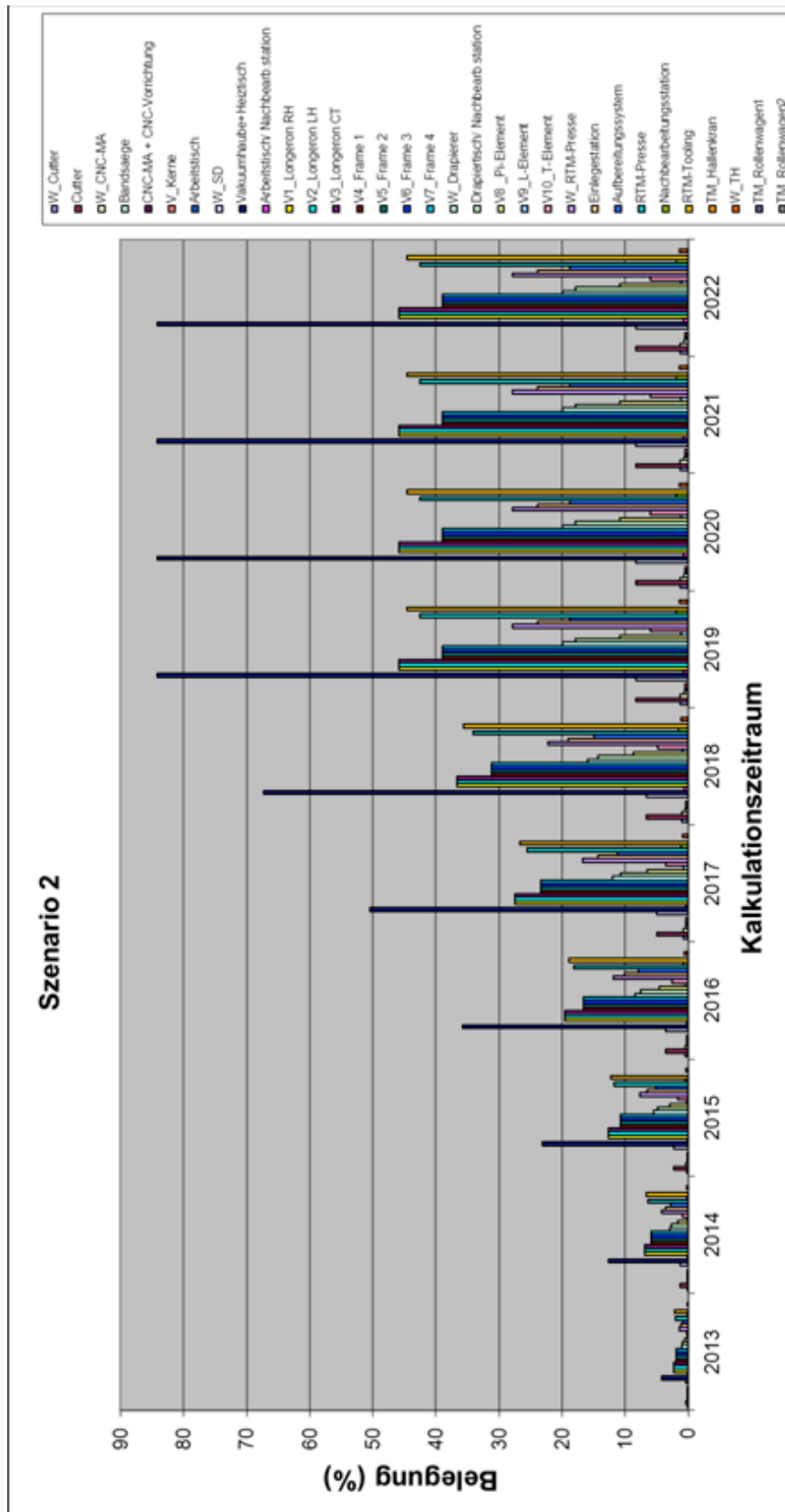
K Prozesszeitanteile



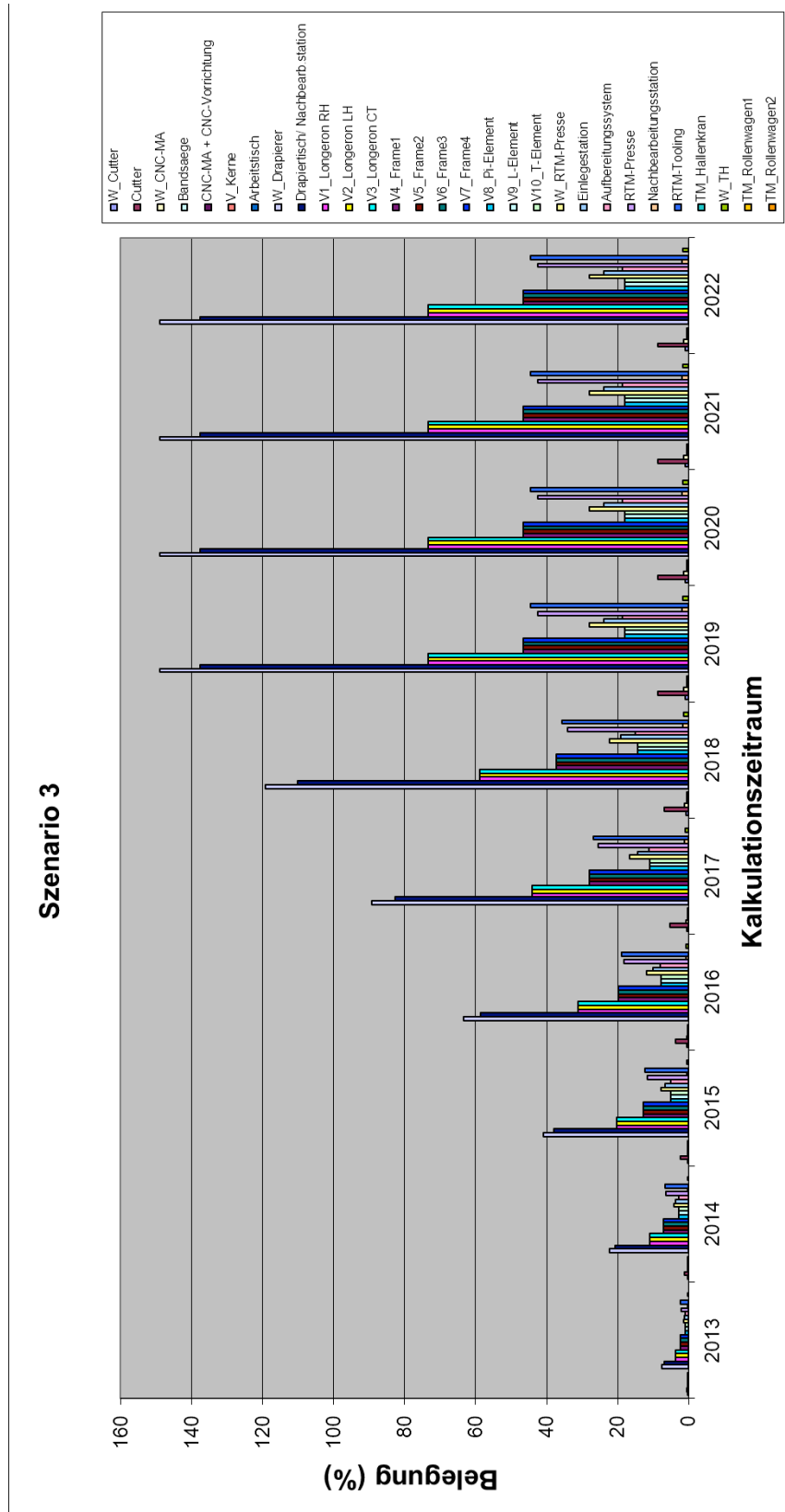
L1 Belegungen – Front-End Szenario 1



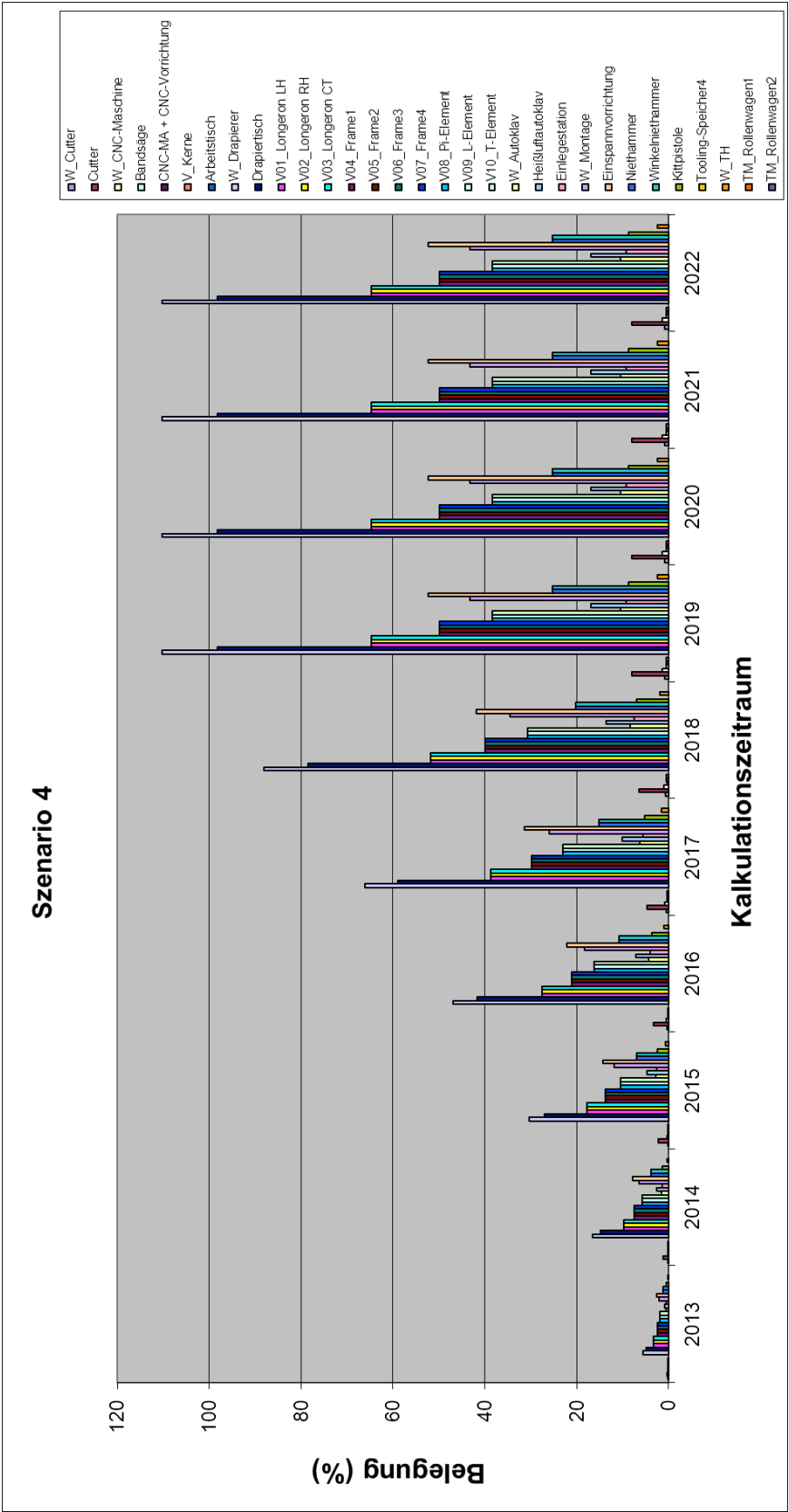
L2 Belegungen – Front-End Szenario 2



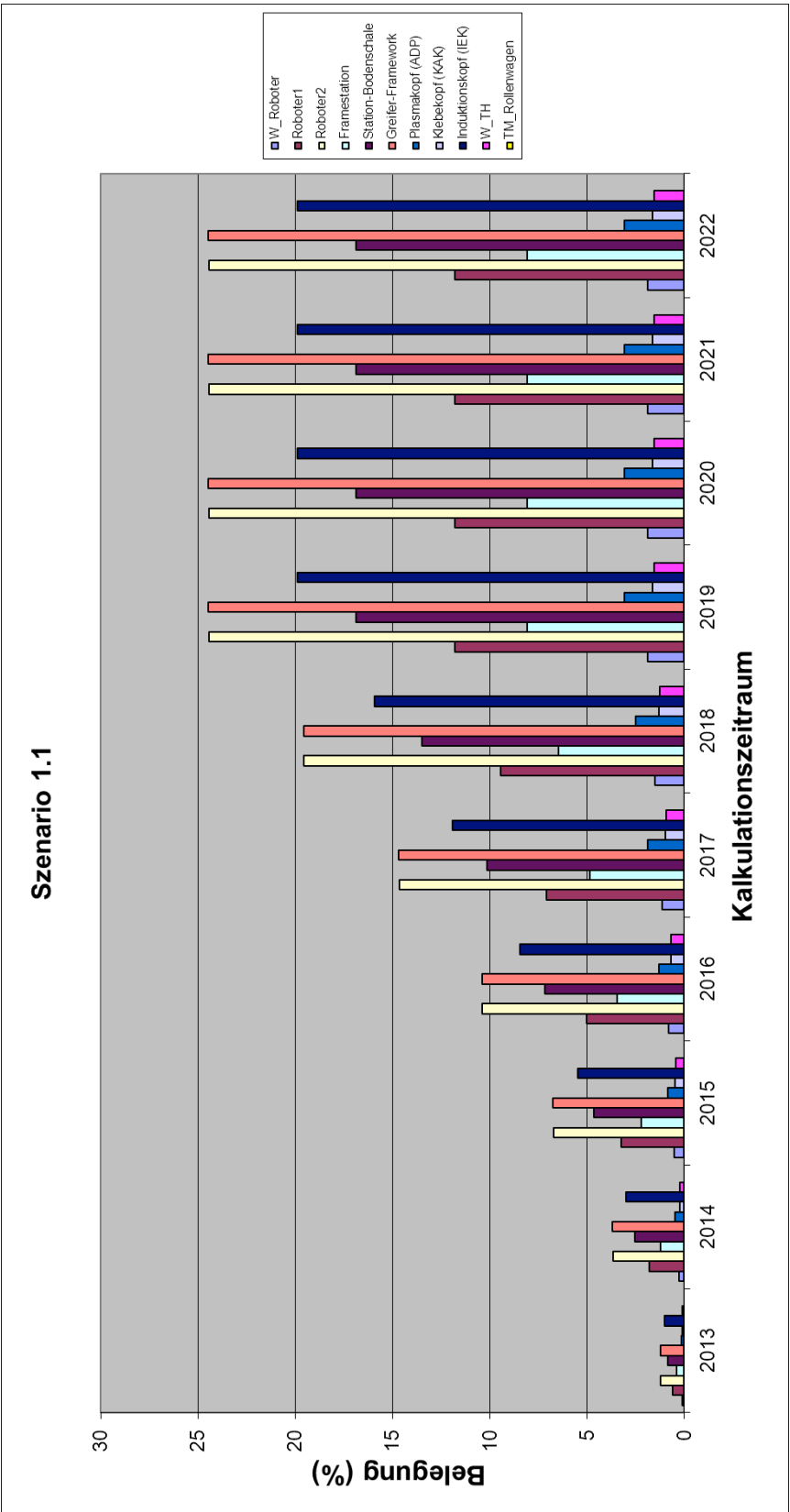
L3 Belegungen – Front-End Szenario 3



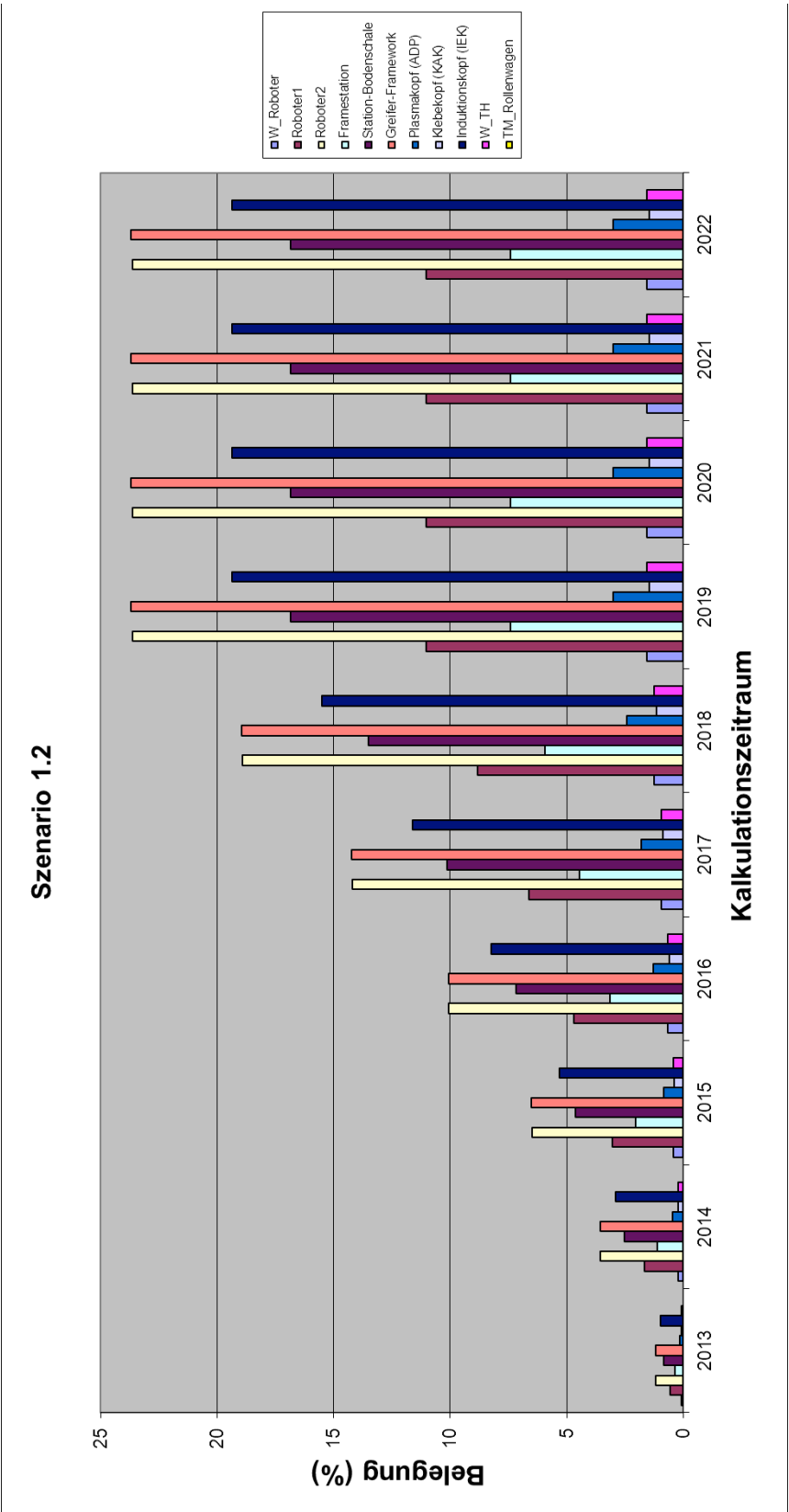
L4 Belegungen – Front-End Szenario 4



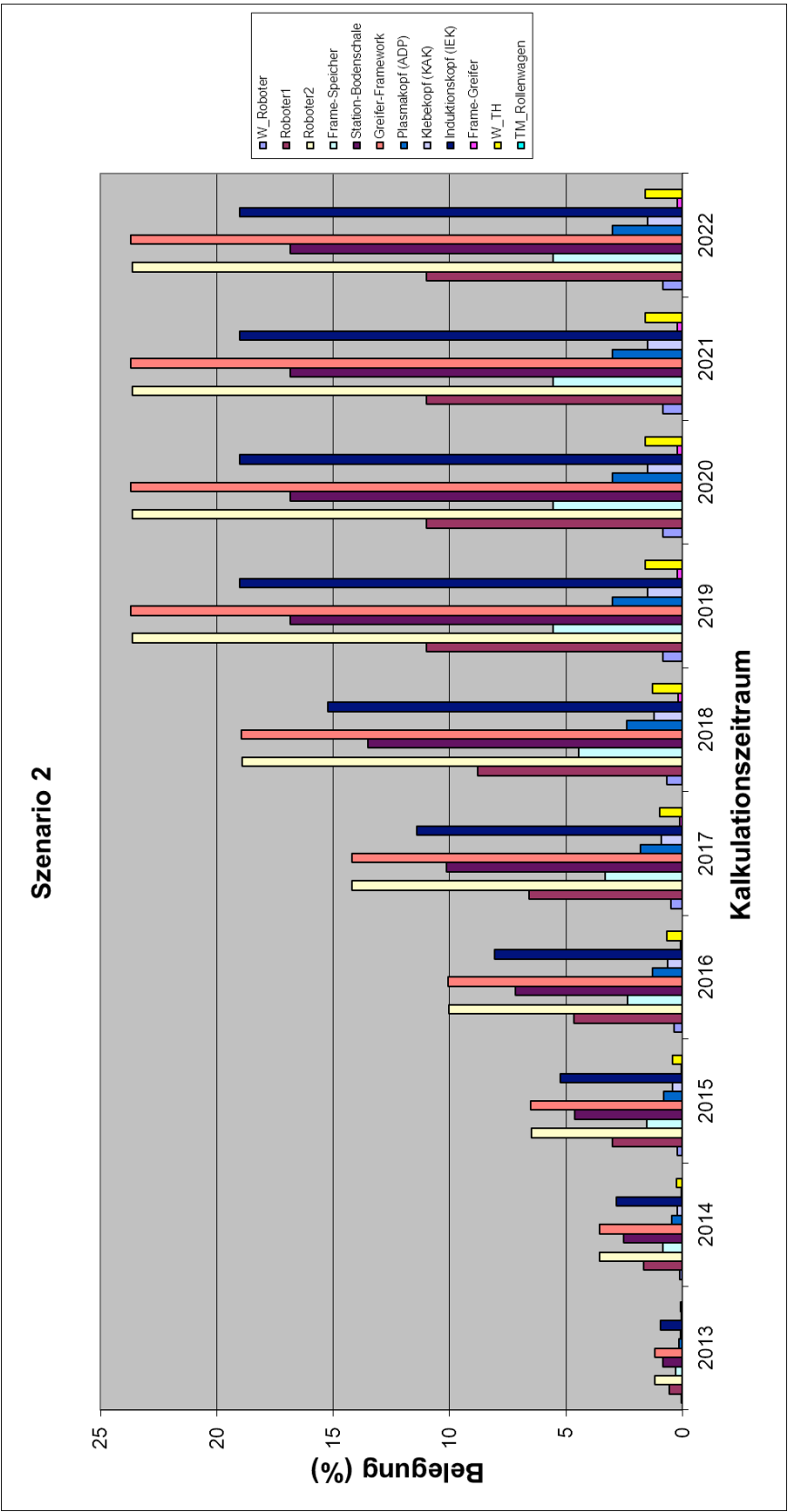
L5 Belegungen – Back-End Szenario 1.1



L6 Belegungen – Back-End Szenario 1.2



L7 Belegungen – Back-End Szenario 2



L7 Belegungen – Speicher

Speicher	Planung	Sz 1	Sz 2	Sz 3	Sz 4
1A	G	24%	55%	37%	70%
	F	51%	63%	108%	
Rohmat. 1	G	43%	76%	58%	84%
	F	64%	77%	126%	
1B	G	23%	70%	52%	61%
	F	45%	60%	107%	
Rohmat. 2	G	43%	76%	58%	89%
	F	65%	79%	128%	
2	G	X	X	60%	94%
	F	X	X	131%	
2A	G	45%	78%	X	X
	F	68%	81%	X	X
2B	G	42%	58%	X	X
	F	58%	67%	X	X
Rohmat. 3	G&F	X	X	X	75%
3	G	45%	78%	60%	X
	F	68%	81%	131%	X
Harz	G	17%	51%	33%	X
	F	27%	40%	90%	X
4	G&F	X	X	X	68%

Belegungen der Speicher zum Front-End bei 40 PE p.a.

Speicher	Planung	Sz 1.1	Sz 1.2
1	G	12%	11%
	F	24%	23%

Belegungen der Speicher zum Back-End bei 40 PE p.a.

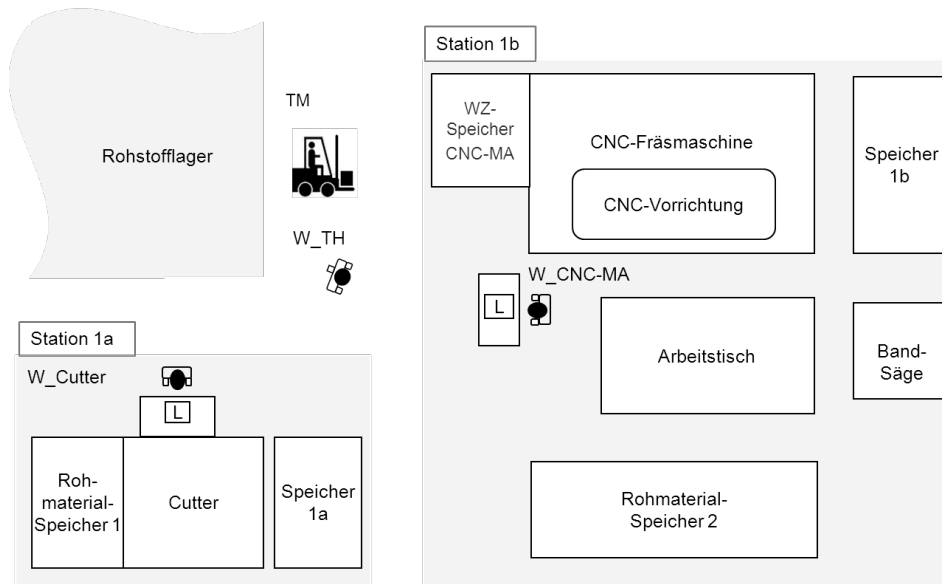
M1 Layoutpläne – Front-End Szenarien - Grobplanung

Alle Front-End Szenarien

Stationsplan: Rohstofflager – Einlagerung / Entnahme

St 1a – Automatisiert Zuschneiden

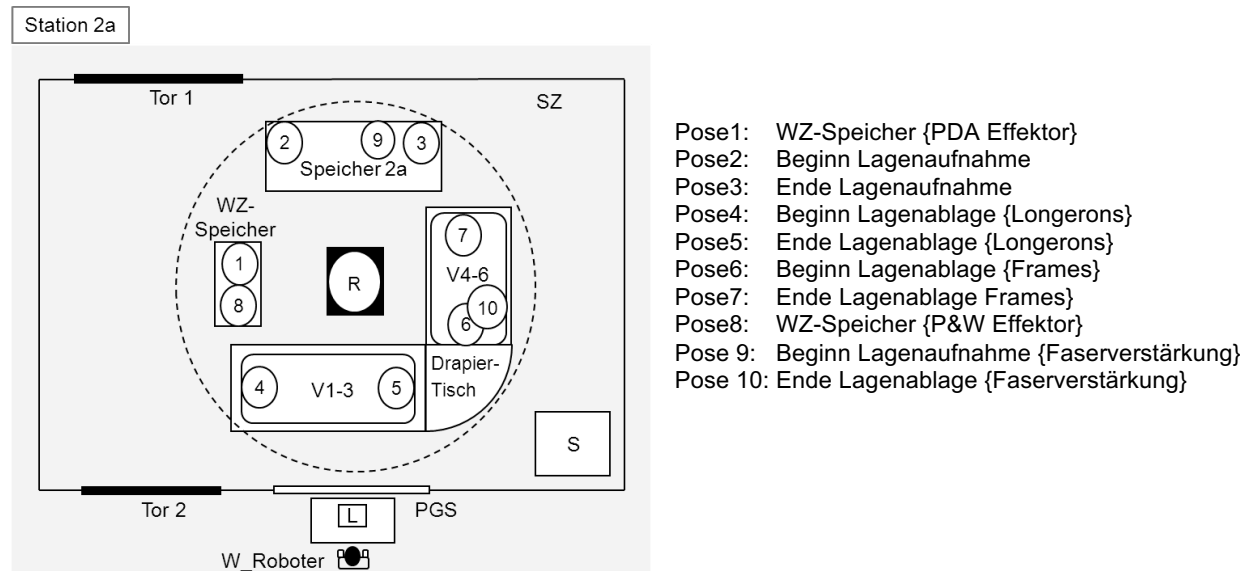
St 1b – Grob Zuschneiden, CNC-Fräsen



Grober Layoutplan der FET-Szenarien, Station 1a/b

Front-End Szenario 1

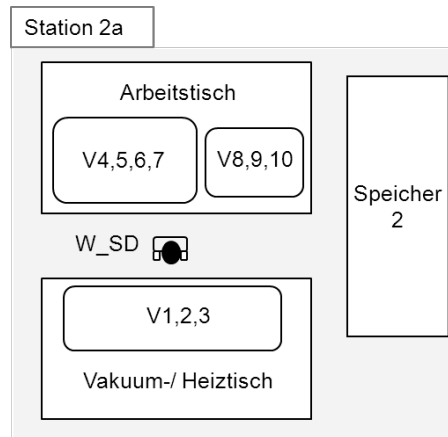
Stationsplan: St 2a – Automatisiert Drapieren



Grober Layoutplan zum FET-Szenario 1, Station 2a

Front-End Szenario 2

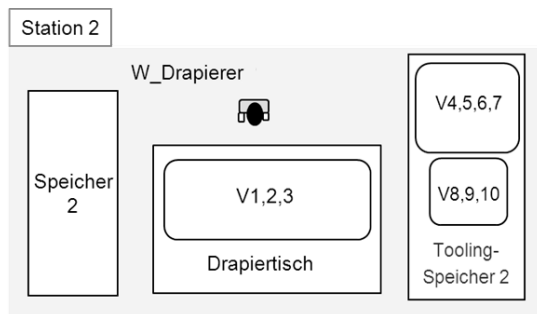
Stationsplan: St 2a – Single Diaphragma



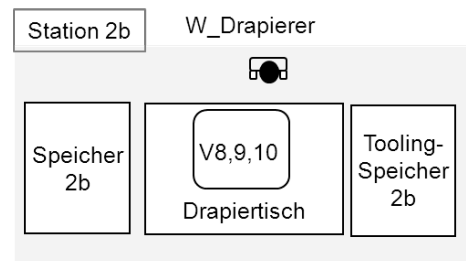
Grob-Layoutplan zum FET-Szenario 2, Station 2a

Alle Front-End Szenarien

Stationsplan: St 2/2b – Manuell Drapieren (Heißbügeln)



Grob-Layoutplan FET-Szenarien 3 und 4, Station 2

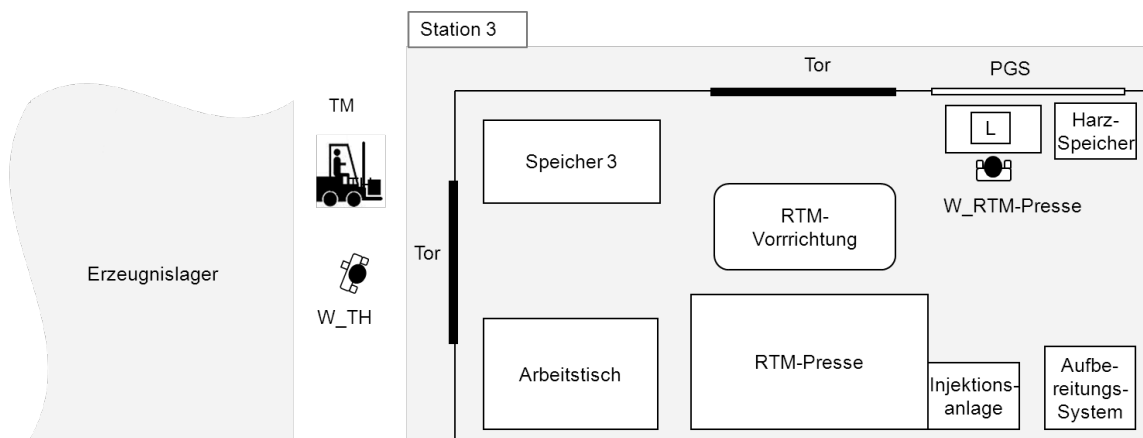


Grob-Layoutplan der FET-Szenarien 1 und 2, Station 2b

Front-End Szenarien 1-3

Stationsplan: St 3 – RTM

Erzeugnislager – Einlagerung / Entnahme

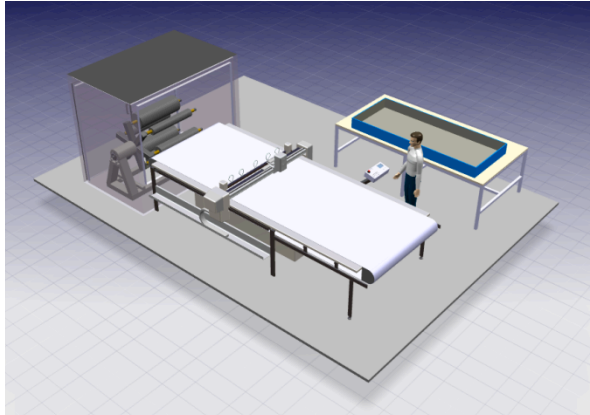


Grob-Layoutplan der FET-Szenarien 1-3, Station 3

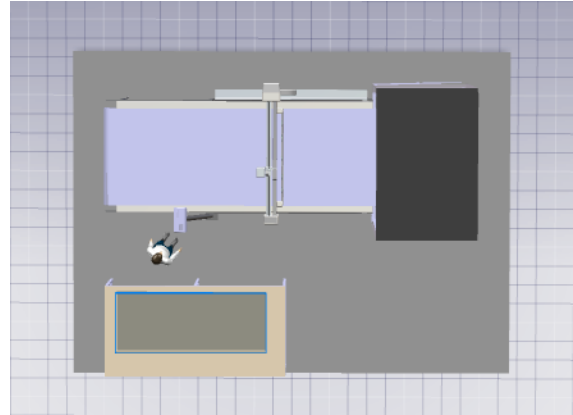
M2 Layoutpläne – Front-End Szenarien - Feinplanung

Alle Front-End Szenarien

Stationsplan: St 1a – Automatisiert Zuschneiden

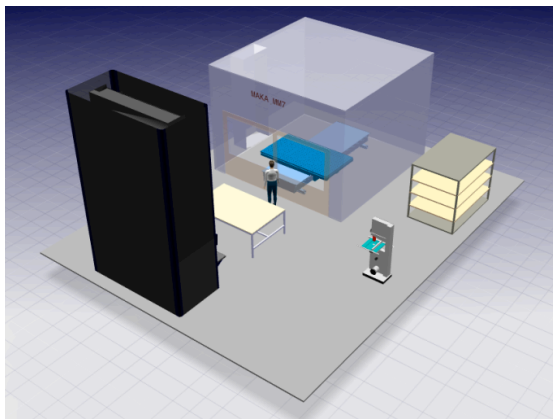


Station 1a in 3D-Darstellung

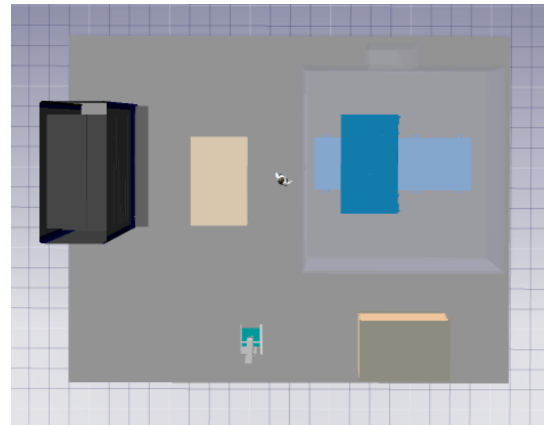


Station 1a in der Draufsicht

Stationsplan: St 1b – Grob Zuschneiden, CNC-Fräsen



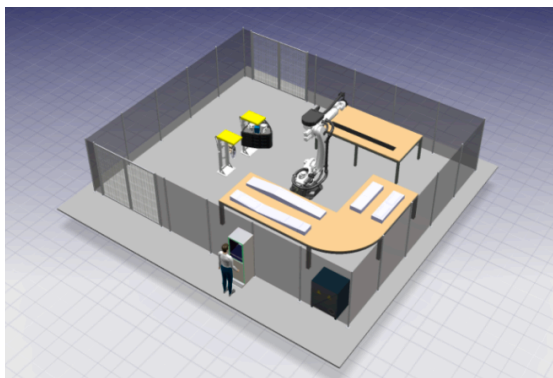
Station 1b in 3D Darstellung



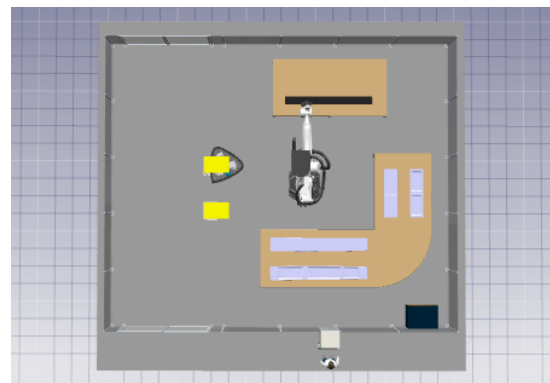
Station 1b in der Draufsicht

Szenario 1

Stationsplan: St 2a – Automatisiert Drapieren



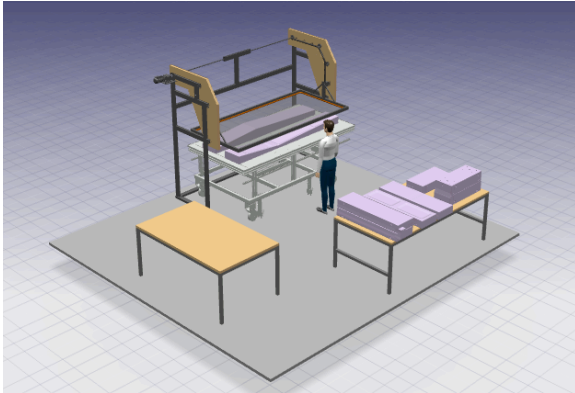
Station 2a in 3D Darstellung;
Simulation des Drapierkopfes nach [33, 34]



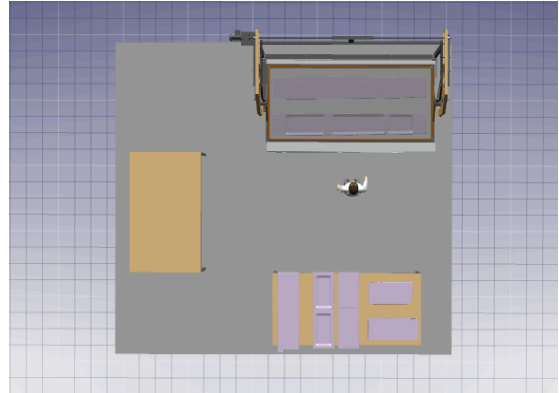
Station 2a in der Draufsicht;
Simulation des Drapierkopfes nach [33, 34]

Szenario 2

Stationsplan: St 2a – Single Diaphragma



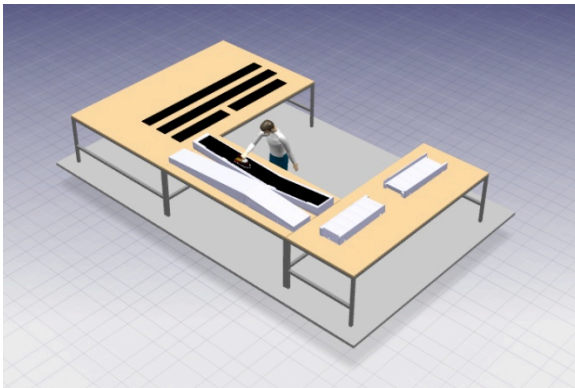
Station 2a in 3D Darstellung



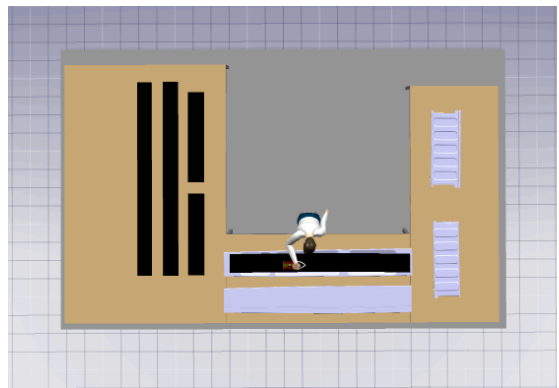
Station 2a in der Draufsicht

Front-End Szenarien 1-3

Stationsplan: St 2/2b – Manuell Drapieren und Heißbügeln

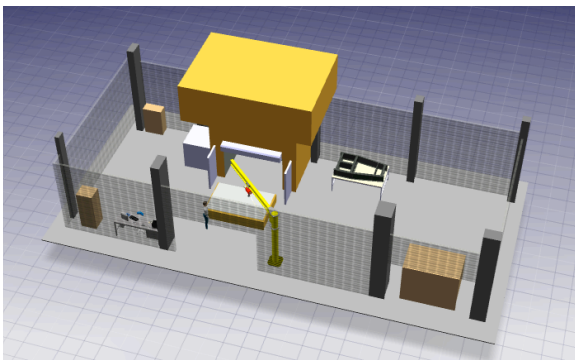


Station 2/2b in 3D Darstellung

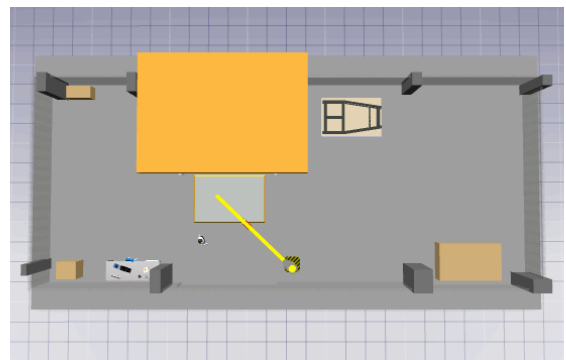


Station 2/2b in der Draufsicht

Stationsplan: St 3 – RTM



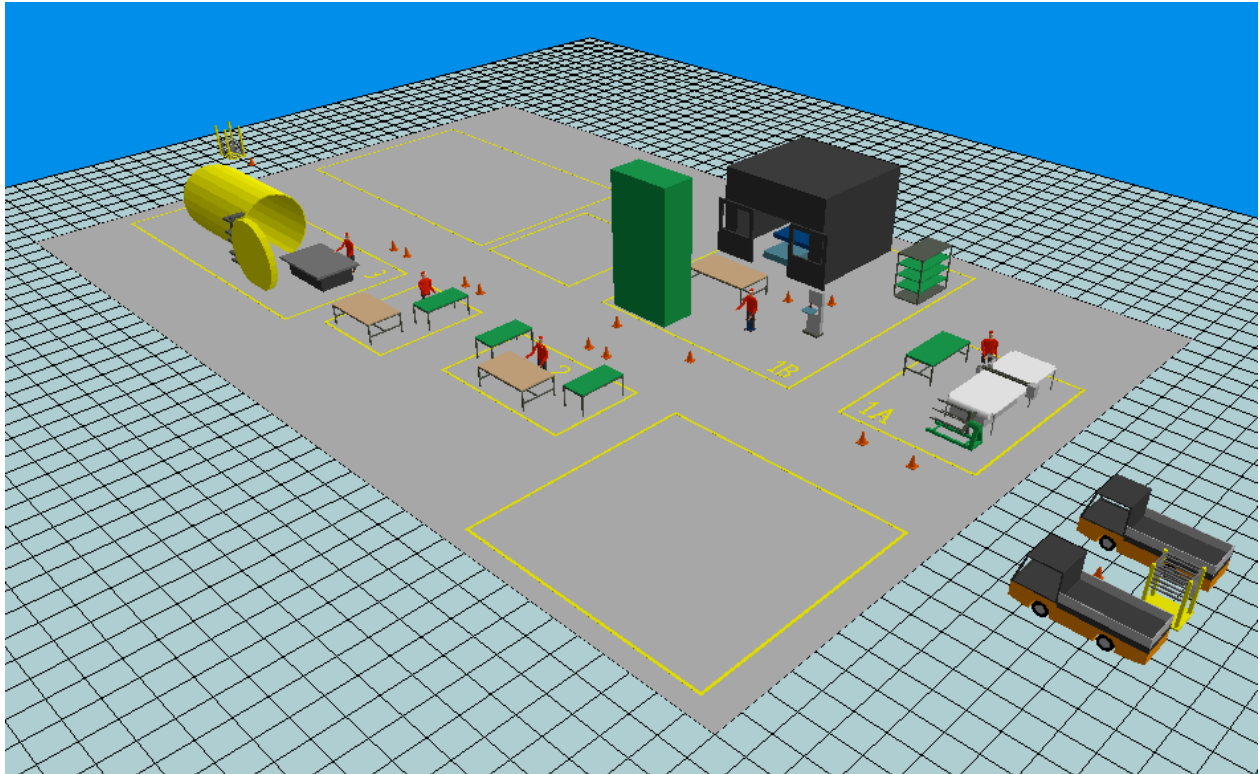
Station 3 in 3D Darstellung



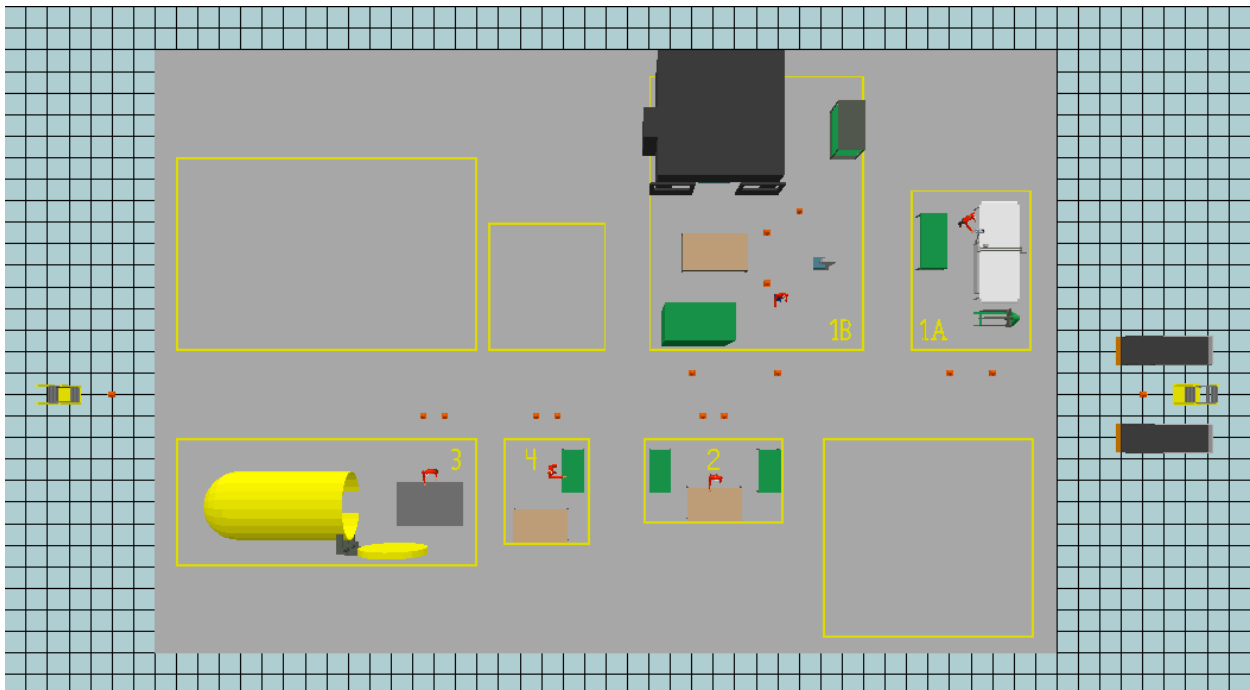
Station 3 in der Draufsicht

Front-End Szenario 4

Fabriklayout



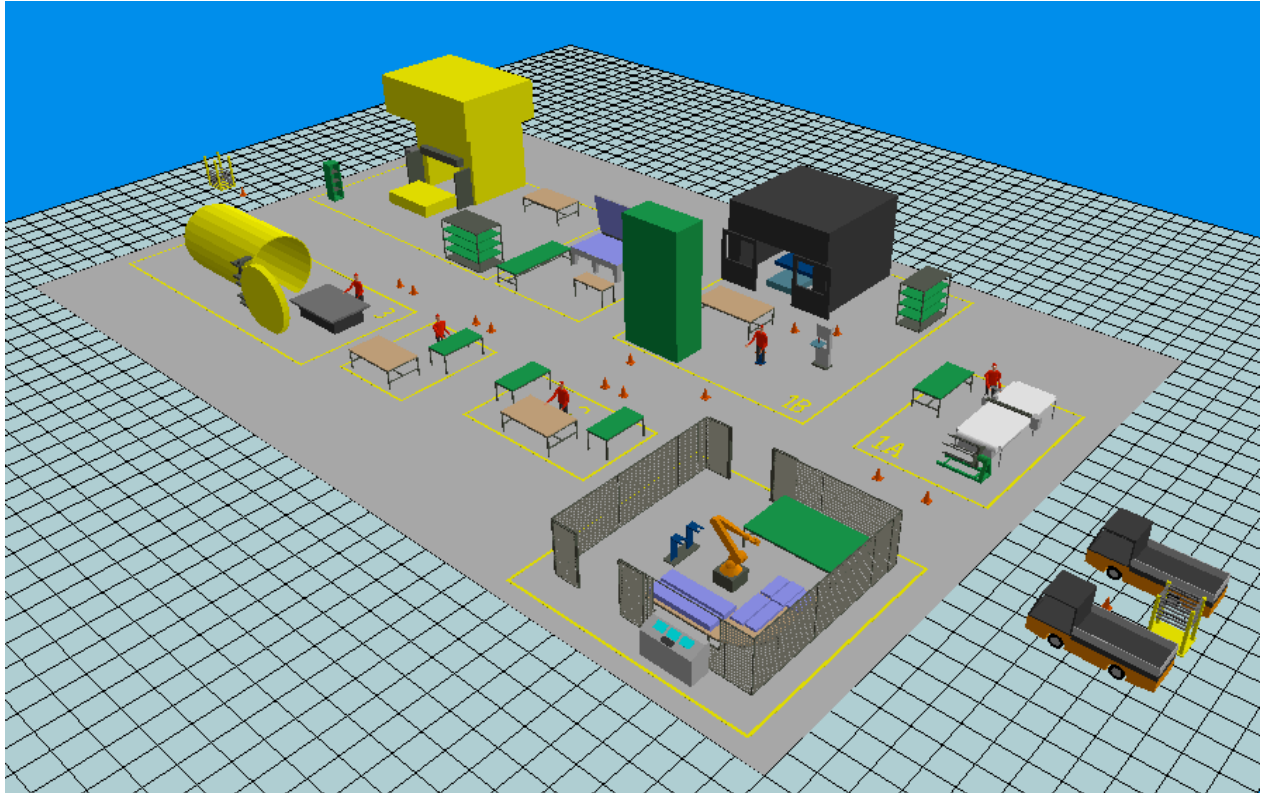
Layoutplan in 3D Darstellung



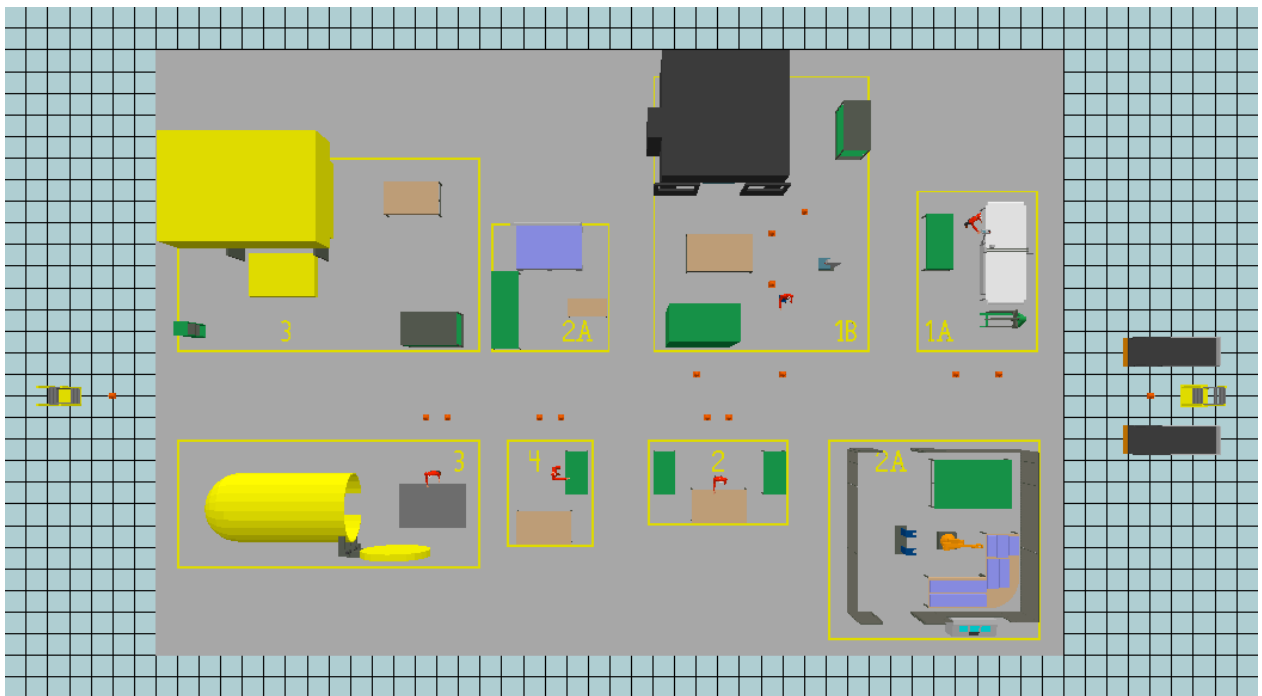
Layoutplan in der Draufsicht

Alle Front-End Szenarien

Fabriklayout



Layoutplan in 3D Darstellung



Layoutplan in der Draufsicht

N1 R-Plan – Front-End Szenarien

Alle Front-End Szenarien

Station	Nr.	Ressourcen	Kategorie
Unabhängig	U01	W_TH	Arbeitsstelle
	U02	TM_Rollenwagen1	Transportmittel
	U03	TM_Rollenwagen2	Transportmittel
	U04	TM_Rollenwagen3	Transportmittel
	U05	T_Rollenmat	Transport
	U06	T_Kernwerkstoffe	Transport
	*	Schutzausrüstungen	Ressource
1A	1A01	W_Cutter	Arbeitsstelle
	1A02	Cutter	Bearbeitungsstation
	1A03	Rohmat.Speicher1 (Rollenmaterial)	Puffer
	1A04	Speicher1a (Zuschnitte)	Puffer
	*	Markierstift	Ressource
	*	Ziehmesser	Ressource
	*	Leitrechner (L)	Ressource
1B	1B01	W_CNC-MA	Arbeitsstelle
	1B02	Bandsäge	Bearbeitungsstation
	1B03	CNC-MA + CNC-Vorrichtung	Bearbeitungsstation
	1B04	V_Vakuumplatte (Kerne)	FEMI
	1B05	Rohmat.Speicher2 (Kernwerkstoffe)	Puffer
	1B06	Speicher1b (Kerne)	Puffer
	1B07	T_Kerne	Transport
	1B08	Arbeitstisch	Ressource
	*	WZ-Speicher_CNC-MA	Ressource
	*	Sägeblatt	Ressource
	*	Schneidmesser	Ressource
	*	Laser	Ressource
	*	Fräskopf	Ressource
	*	Leitrechner	Ressource

* Ressourcen sind in DPE/DPM nur als grafische Elemente, ohne Verknüpfung zu Prozessen aufgelistet.

Szenario 1

Station	Nr.	Ressourcen	Kategorie
Unabhängig	U07	T_Preforms (LRs+Frames)	Transport
	U08	T_Kaufteile + Harz	Transport
	U09	T_Framework	Transport
1A	1A05	T_Zuschnitte (Verbindungselemente)	Transport
	1A06	T_Zuschnitte (LRs+Frames)	Transport
2A	2A01	W_Roboter	Arbeitsstelle
	2A02	R_Roboter + Drapiertisch	Bearbeitungsstation
	2A03	PDA-Effektor	FEMI
	2A04	P&W-Effektor	FEMI
	2A05	V1_Longeron_RH	FEMI / Vorrichtung
	2A06	V2_Longeron_LH	FEMI / Vorrichtung
	2A07	V3_Longeron_CT	FEMI / Vorrichtung
	2A08	V4_Frame 1	FEMI / Vorrichtung
	2A09	V5_Frame 2	FEMI / Vorrichtung
	2A10	V6_Frame 3	FEMI / Vorrichtung
	2A11	V7_Frame 4	FEMI / Vorrichtung
	2A12	Speicher 2a (Zuschnitte LRs+Frames)	Puffer
	*	WZ-Speicher (P&D, P&W)	Ressource
	*	Sschutzzaun (SZ)	Ressource
	*	Sschaltschrank (S)	Ressource
	*	Tor	Ressource
	*	Plexiglasscheibe (PGS)	Ressource
	*	Leitrechner (L)	Ressource
2B	2B01	W_Drapierer	Arbeitsstelle
	2B02	Drapiertisch / Nachbearbeitungsstation	Bearbeitungsstation
	2B03	V8_Pi-Element	FEMI / Vorrichtung
	2B04	V9_L-Element	FEMI / Vorrichtung
	2B05	V10_T-Element	FEMI / Vorrichtung
	2B06	Speicher 2b (Zuschnitte VS-Elemente)	Puffer
	2B07	Speicher 2b (Preforms Verbindungselemente)	Puffer
	2B08	T_Preforms (Verbindungselemente)	Transport
	*	Bügeleisen	Ressource
	*	Schneidemesser	Ressource
3	3-01	W_RTM-Presse	Arbeitsstelle
	3-02	Einlegestation	Montagestation
	3-03	Aufbereitungssystem	Bearbeitungsstation
	3-04	RTM-Presse	Bearbeitungsstation
	3-05	Nachbearbeitungsstation	Montagestation
	3-06	RTM-Tooling	FEMI
	3-07	Speicher3 (Preforms)	Puffer
	3-08	Harzspeicher	Puffer
	3-09	TM_Schwenkkran	Transportmittel
	3-10	T_RTM_Tooling	Transport
	*	Arbeitstisch	Ressource
	*	Injektionsanlage	Ressource
	*	Tor	Ressource
	*	Plexiglasscheibe (PGS)	Ressource
	*	Feile	Ressource
	*	Leitrechner (L)	Ressource

* Ressourcen sind in DPE/DPM nur als grafische Elemente, ohne Verknüpfung zu Prozessen aufgelistet.

Szenario 2

Station	Nr.	Ressourcen	Kategorie
Unabhängig	U07	T_Preforms (LRs+Frames)	Transport
	U08	T_Kaufteile + Harz	Transport
	U09	T_Framework	Transport
1A	1A05	T_Zuschnitte (Verbindungselemente)	Transport
	1A06	T_Zuschnitte (LRs+Frames)	Transport
2A	2A01	W_SD	Arbeitsstelle / Werker
	2A02	Heiztisch + Vakuumhaube	Bearbeitungsstation
	2A03	Arbeitstisch / Nachbearbeitungsstation	Montagestation
	2A04	V1_Longeron_RH	FEMI / Vorrichtung
	2A05	V2_Longeron_LH	FEMI / Vorrichtung
	2A06	V3_Longeron_CT	FEMI / Vorrichtung
	2A07	V4_Frame 1	FEMI / Vorrichtung
	2A08	V5_Frame 2	FEMI / Vorrichtung
	2A09	V6_Frame 3	FEMI / Vorrichtung
	2A10	V7_Frame 4	FEMI / Vorrichtung
	2A11	Speicher2a (Zuschnitte LRs+Frames)	Puffer
	*	Schneidemesser	Ressource
2B	2B01	W_Drapierer	Arbeitsstelle / Werker
	2B02	Drapiertisch / Nachbearbeitungsstation	Bearbeitungsstation
	2B03	V8_Pi-Element	FEMI / Vorrichtung
	2B04	V9_L-Element	FEMI / Vorrichtung
	2B05	V10_L-Element	FEMI / Vorrichtung
	2B06	Speicher 2b (Zuschnitte VS-Elemente)	Puffer
	2B07	Speicher 21b (Preforms VS-Elemente)	Puffer
	2B08	T_Preforms (Verbindungselemente)	Transport
	*	Bügeleisen	Ressource
	*	Schneidemesser	Ressource
3	3-01	W_RTM-Press	Arbeitsstelle
	3-02	Einlegestation	Montagestation
	3-03	Aufbereitungssystem	Bearbeitungsstation
	3-04	RTM-Press	Bearbeitungsstation
	3-05	Nachbearbeitungsstation	Montagestation
	3-06	RTM-Tooling	FEMI
	3-07	Speicher3 (Preforms)	Puffer
	3-08	Harzspeicher	Puffer
	3-09	TM_Schwenkkran	Transportmittel
	3-10	T_RTM_Tooling	Transport
	*	Arbeitstisch	Ressource
	*	Injektionsanlage	Ressource
	*	Tor	Ressource
	*	Plexiglasscheibe (PGS)	Ressource
	*	Feile	Ressource
	*	Leitrechner (L)	Ressource

* Ressourcen sind in DPE/DPM nur als grafische Elemente, ohne Verknüpfung zu Prozessen aufgelistet.

Szenario 3

Station	Nr.	Ressourcen – Bezeichnung	Kategorie
Unabhängig	U07	T_Preforms (LRs+Frames)	Transport
	U08	T_Kaufteile + Harz	Transport
	U09	T_Framework	Transport
1A	1A05	T_Zuschnitte	Transport
2	2-01	W_Drapierer	Arbeitsstelle / Werker
	2-02	Drapiertisch / Nachbearbeitungsstation	Bearbeitungsstation
	2-03	V1_Longeron_RH	FEMI / Vorrichtung
	2-04	V2_Longeron_LH	FEMI / Vorrichtung
	2-05	V3_Longeron_CT	FEMI / Vorrichtung
	2-06	V4_Frame_1	FEMI / Vorrichtung
	2-07	V5_Frame_2	FEMI / Vorrichtung
	2-08	V6_Frame_3	FEMI / Vorrichtung
	2-09	V7_Frame_4	FEMI / Vorrichtung
	2-10	V8_Pi-Element	FEMI / Vorrichtung
	2-11	V9_L-Element	FEMI / Vorrichtung
	2-12	V10_T-Element	FEMI / Vorrichtung
	2-13	Speicher2 (Zuschnitte)	Puffer
	*	Bügeleisen	Ressource
	*	Schneidemesser	Ressource
3	3-01	W_RTM-Press	Arbeitsstelle
	3-02	Einlegestation	Montagestation
	3-03	Aufbereitungssystem	Bearbeitungsstation
	3-04	RTM-Press	Bearbeitungsstation
	3-05	Nachbearbeitungsstation	Montagestation
	3-06	RTM-Tooling	FEMI
	3-07	Speicher3 (Preforms)	Puffer
	3-08	Harzspeicher	Puffer
	3-09	TM_Schwenkkran	Transportmittel
	3-10	T_RTM_Tooling	Transport
	*	Arbeitstisch	Ressource
	*	Injektionsanlage	Ressource
	*	Tor	Ressource
	*	Plexiglasscheibe (PGS)	Ressource
	*	Feile	Ressource
	*	Leitrechner (L)	Ressource

* Ressourcen sind in DPE/DPM nur als grafische Elemente, ohne Verknüpfung zu Prozessen aufgelistet.

Szenario 4

Station	Nr.	Ressourcen – Bezeichnung	Kategorie
Unabhängig	U07	T_Folien + Tapes	Transport
	U08	T_Preforms (Prepregs)	Transport
	U09	T_Montageteile	Transport
	U10	T_Kartuschen + Nieten	Transport
	U11	T_Framework	Transport
1A	1A05	T_Zuschnitte	Transport
2	2-01	W_Drapierer	Arbeitsstelle / Werker
	2-02	Drapiertisch / Nachbearbeitungsstation	Bearbeitungsstation
	2-03	V1_Longeron_RH	FEMI / Vorrichtung
	2-04	V2_Longeron_LH	FEMI / Vorrichtung
	2-05	V3_Longeron_CT	FEMI / Vorrichtung
	2-06	V4_Frame_1	FEMI / Vorrichtung
	2-07	V5_Frame_2	FEMI / Vorrichtung
	2-08	V6_Frame_3	FEMI / Vorrichtung
	2-09	V7_Frame_4	FEMI / Vorrichtung
	2-10	V8_Pi-Element	FEMI / Vorrichtung
	2-11	V9_L-Element	FEMI / Vorrichtung
	2-12	V10_T-Element	FEMI / Vorrichtung
	2-13	Speicher2 (Zuschnitte)	Puffer
	2-14	Rohmat.Speicher3 (Rollenmat)	Puffer
3	3-01	W_Autoklav	Arbeitsstelle / Werker
	3-02	Heißluftautoklav	Bearbeitungsstation
	3-03	Einlegestation	Bearbeitungsstation
4	4-01	W_Montage	Arbeitsstelle / Werker
	4-02	Einspannvorrichtung	Bearbeitungsstation
	4-03	Niethammer	FEMI / Vorrichtung
	4-04	Winkelhammer	FEMI / Vorrichtung
	4-05	Kittpistole	FEMI / Vorrichtung
	4-06	Speicher4	Puffer

* Ressourcen sind in DPE/DPM nur als grafische Elemente, ohne Verknüpfung zu Prozessen aufgelistet.

Ressourcenplan enthält in Ergänzung zu Tabelle 1, Ressourcen zum Front-End Szenario 4

N2 R-Plan – Back-End Szenarien

Alle Back-End Szenarien

Station	Nr.	Ressourcen	Kategorie
Unabhängig	U01	W_TH	Arbeitsstelle
	U02	TM_Rollenwagen	Transportmittel
	U03	T_Montageteile	Transport
	U04	T_Bodengruppe	Transport
	*	Schutzausrüstung	Ressource
1	1-01	W_Roboter	Arbeitsstelle
	1-02	Roboter1	Bearbeitungsstation
	1-03	Roboter2	Bearbeitungsstation
	1-05	Station-Bodenschale	Montagestation
	1-06	Greifer-Framework	FEMI
	1-07	Plasmakopf (ADP)	FEMI
	1-08	Klebekopf (KAK)	FEMI
	1-09	Induktionskopf (IEK)	FEMI
	1-10	Speicher1	Puffer
	*	Lineareinheit (LE)	Ressource
	*	Leitrechner (L)	Ressource
	*	Schaltschrank (S)	Ressource
	*	Schutzzaun (SZ)	Ressource
	*	Plexiglasscheibe (PGS)	Ressource
	*	Tor	Ressource
	*	WZ-Speicher	Ressource

*Ressourcen sind in DPE nur als grafische Elemente, ohne Verknüpfung zu Prozessen aufgelistet.

Back-End Szenario 1

Station	Nr.	Ressourcen	Kategorie
1	1-04	Framestation	Montagestation

Back-End Szenario 2

Station	Nr.	Ressourcen	Kategorie
1	1-04	Frame-Speicher	Montagestation
	1-11	Frame-Greifer	FEMI

O1 Ressourcen – Arbeitssysteme

Cutter MFC 180/250 [128]

Aggregate

MFC 180/250	: Schneidetisch mit Abräumförderband
Werkzeugkopf	: - Hochleistungsschneidkopf, Typ Tz-P20W und Pen-Modul - Laserpointer für optionalen Start- und Haltepunkt
Werkzeug	: Elektrisch oszillierendes Ziehmesser (EOT 40)
I/O-Controller	: CPU mit HUMANTEC Ansteuerungssoftware
Netzwerkkarte	: 3Com 10/100 Mb/s
Ansteuerung Ballenkarussell	: OPTORE E/A Karte
Hilfsantrieb	: Antrieb für Conveyortransport

Technische Daten

Schneidetisch	: 5500 mm x 2400 mm
Schneidefenster	: Breite : 1800 mm Länge : 2500 mm
Dimension MFC 180/250 (mit Abräumförderband)	: Breite : 2400 mm Länge : 5500 mm
Mechanische Konstruktion	: - stabile, geschweißte Rahmen- bzw. Holmenkonstruktion - schlupffreier Stahlband-Antrieb - alle Achsen mit hochdynamischen DC-Servo-Motoren
Schneidkriterien	: kleinste Radien (≥ 3 mm) mit EOT40/POT40
Werkzeugeinsätze optional	: - tangential gesteuertes Ziehmesser - Elektrisches Hochfrequenzmesser (18 000 Hübe/min) - Pneumatisches Oszilliermesser (12 000 Hübe/min) - Angetriebenes Rundmesser - 2 Bohrwerkzeuge ($\varnothing 1-5$ mm) mit automatischer Absaugung - Laserpointer für optionalen Start- und Stopppunkt
Wiederholgenauigkeit	: ± 0.02 mm
Auflösung Messsystem	: 0.005 mm
Adressierbare Auflösung	: 0.01 mm
Geschwindigkeit	: 1-1000 mm/s, abhängig vom Cutterttyp und Werkzeug
Beschleunigung	: max. 10 m/s ² , abhängig vom Cutterttyp und Werkzeugkopf
Schnittstelle	: RS 232/V24
Software	: Befehlssatz: HP-GL erweitert, Datenformat ASCII
Elektronik Steuerung	: Austauschbare Elektronikbox, 4-Achsen-Steuerung X, Y, T, Z
Bedienung Keyboard	: Benutzerfreundliches 4zeiliges LCD-Display, mehrsprachig, 9- User Parametersätze, integrierte Diagnosefunktion
Gewicht	: 1100 kg
Schutzart	: IP 54

CNC-MAKA [129]

Kenndaten

Typenbezeichnung	: MM 7s
Maschinenbezeichnung	: CNC-Bearbeitungszentrum
Maschinen-Nr.	: 210442 08
Baujahr	: 2008
Elektroschaltplan	: 210442
Maschinengewicht	: ca. 8000 kg
Fundament	: Stahlbeton-Fußboden, Qualität EN 206 (Tragfähigkeit 1500 kg/m ²)

Anschlussdaten

Elektroanschluss	: Betriebsspannung	: 420 V/50Hz
	: Installierte Leistung	: ca. 23,5 kW
	: Anschlusssicherung	: 63 A
	: Anschlussquerschnitt	: 16 mm ²
Pneumatikanschluss	: Betriebsdruck	: 6 bar
	: Anschlusssicherung	: ½ “
	: Zuleitung	: lichte Weite mind. 1“
	: Luftqualität	: entwässert und gereinigt
	: Druckluftverbrauch	: ca. 500 Ltr./h unkomprimiert
Absaugung	: Strömungsgeschwindigkeit	: 25 – 30 m/sek.

CNC-Steuerung

Steuerungstyp	: Siemens 840D sl
Gesteuerte Achsen	: X- Y- Z- C- A-
Max. Verfahrwege	: 3720 2900 1050 ±540° ±100°

Aggregate

Fräsaggregat	: Typenbezeichnung	: HSD-Fräsmotor HSK F63
	: Kühlung	: Wasserkühlung
	: Leistung	: 10 kW
	: Drehzahlbereich	: 24 000 min ⁻¹
	: Schmierung	: Fettdauerschmierung
	: Werkzeugaufnahme	: HSK F63
Werkzeugwechsler	: Typenbezeichnung	: Kettenmagazin
	: Anzahl Plätze	: 24
	: Aufnahme	: HSK F63, WZ-Ø60 mm, 300 mm lg.
Maschinentisch	: Typenbezeichnung	: Flächentisch
	: Werkstückspannung	: Vakuum
Zul. Werkstückmaße	: X-Achse	: max. 2500 mm
	: Y-Achse	: max. 1500 mm
	: Z-Achse	: - max. 650 mm, bei 150 mm - max. 500 mm, bei 300 mm

HEMA Bandsäge [130]

Kenndaten

Typenbezeichnung	: UH 900L/M
Maschinenbezeichnung	: HEMA Bandsäge
Maschinennummer	: 910242
Baujahr	: 2012/11-87
Maschinengewicht	: 1000 kg

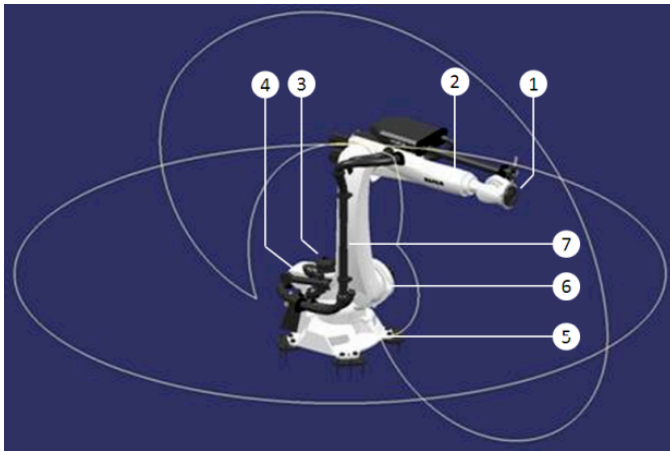
Technische Daten

Abmaße Bandsäge	: 1080x1640x3000 mm
Ø Umlenkrollen	: 900 mm
Sägeblattabmessungen	: IKARUS 27 x 0,9 x 4-6 ZpZ, Varioverzahnung
Sägeblattlänge	: 6550 mm
Beladehöhe	: 1025 mm
Schnitthöhe	: ca. 700 mm
Schnittgeschwindigkeit	: 370 – 1850 m/min
Ø Absauganschluss	: 2 x Ø100 mm
Strömungsgeschwindigkeit	: Mind. 20 m/s
Volumenstrom	: 1380 m³/h

Anschlussdaten

Betriebsspannung	: 400 Volt / 50 Hz 3 x 400 Volt
Absicherung	: max. 25 Ampere
Leitungsquerschnitt	: 2,5 mm²

Industrieroboter KR210 R3100 [131]

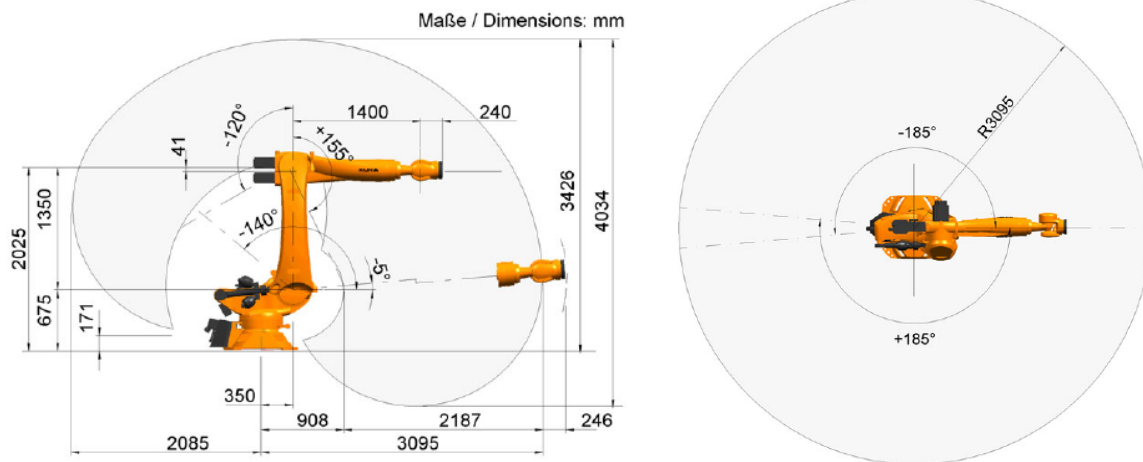


- 1) Zentralhand
- 2) Arm
- 3) Gewichtsausgleich
- 4) Elektro-Installation
- 5) Grundgestell
- 6) Karussell
- 7) Schwinge

Baugruppen des Manipulators KUKA 210 Quantec

Technische Daten

Zentralhand	: ZH 210/240
Nenn-Traglast	: 210 kg
Abstand des Traglast-Schwerpunkts LZ (horizontal)	: 240 mm
Abstand des Traglast-Schwerpunkts Lxy (vertikal)	: 270 mm
Zulässiges Massenträgheitsmoment	: 105 kgm ²
Max. Gesamtlast	: 260 kg
Zusatzlast Arm	: 50 kg



Arbeitsraum des Industrieroboters vom Typ KR210 R3100 ultra der Firma KUKA

Pick & Drape & Activate – Endeffektor [119]

Aggregate

Unterdruckerzeuger

Typ : IST LX 3027
Bezeichnung Gebläse : High Flow, Actiron
Leistung : 1600W

Hubmagnete

Leistung : 160W

Schaumstoffe

Typ : PUR B1 HR5060
Eindruckhärte : 240 (Härteprüfung B)
Schaumstoffhöhe : 50mm

Heizfelder

Leistung : 240W
Temperaturbeständig : bis ca. 250°C
Mechanisch belastbar : 11kW/m²

Temperatursensoren

Typ : PT100

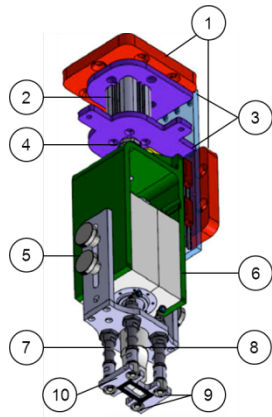
Technische Daten

Max. Ablegelänge : 2,5m
Max. Ablegebreite : 0,5 m
Ablegewinkel : $\geq 90^\circ$



Pick & Drape & Activate Endeffektor

Pick & Weld – Endeffektor [132,133]

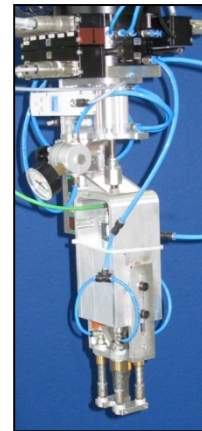


1. Adapterplatte
2. Kompaktzylinder
3. Schienenhalteplatte
4. Flexo Kupplung
5. Rändelschraube
6. Schwingeinheit & Gehäuse
7. Federstößel und Adaptermuffe
8. Sonotrode
9. Greifer
10. Klemmplatte

Baugruppen des „Pick & Weld“ Endeffektors

Technische Daten

Sonotrode	: Max. Schweißfläche: 12x20 mm ² Schaftlänge : 118 mm
Schweißgenerator	: Maximalleistung: 1500 W, 30 kHz Maximale Amplitude: ~29 µm
Pneumatik	: Typ FESTO ADVU – 32 – 40 APA Kolbendurchmesser: 32 mm Resultierende max. Anpresskraft: 454 N Verfügbarer Luftdruck: 6 bar
Bernoulli Greifer	: Schmalz SBS 20HF M5-IG Haltekraft 3N pro Greifer (bei Preform ~250g) Kontaktfreier Griff Luftkontamination



„Pick & Weld“ Endeffektor

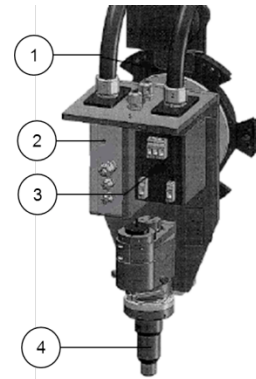
Atmosphären-Druck-Plasma – Endeffektor [134,135,136]

Die wesentlichen Komponenten der Plasma Funktionseinheit sind:

- ADP Funktionskopf
- Plasma Generator
- Druckversorgungsmodul DVE10

Der ADP Effektor integriert die folgenden Funktionseinheiten:

- 1) Werkzeugwechsler WWR 1160L
- 2) Plasma-Überwachungsmodul LCM1
- 3) Hochspannungstrafo HTR11 mit Aluminiumgehäuse
- 4) OPENAIR® Rotationsdüse RD1004 (Auslass Ø 5 mm)
Rotationsüberwachungsmodul RCM-D



ADP Endeffektor

Technische Daten

- Plasma Activate Funktionskopf

Behandlungsbreite	: ≤ 50 mm
Relativ Geschwindigkeit zur Oberfläche	: ≤ 22 m/min bei 40 mm Behandlungsbreite
Wirkabstand zur Oberfläche	: 4 – 15 mm
Gewicht	: 4,2 kg
Arbeitsgas (öl- und wasserfreie Druckluft)	: 2000 NI/h
Arbeitsfrequenz	: 16 – 25 kHz
Elektrodenspannung	: 3 – 5 kV

- Plasma Generator

Maße	: 600x540x1450 mm
Ausgangsleistung	: 2000 VA
Notwendige elektrische Einspeisung	: 3x400 V, 32 A

Weitere Angaben zur Plasma Funktionseinheit siehe [61,136].

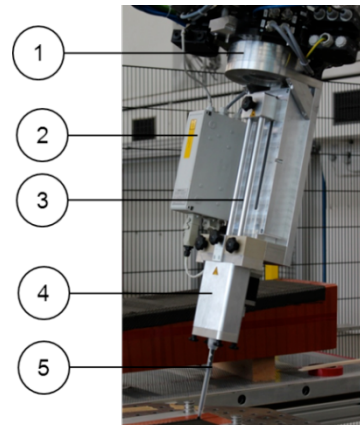
Klebeapplikationskopf – Endeffektor [134]

Die Elemente des KAK Endeffektors sind:

- 1) Werkzeugwechsler WWR1160L
- 2) Busanbindung
- 3) Druckkolben und Kartuschenhalter
- 4) Beheizbare Kartuschenhülse
- 5) Klebedüse (Auslass Ø 1 ¾ Zoll)

Der Klebekopf kann folgende Kartuschen aufnehmen:

- Typ SEMCO Semkit, 6 OZ
- SULZER AC 400-02-10-01,
2K Kammerkartuschen 400 ml, Mischer MC-08-24

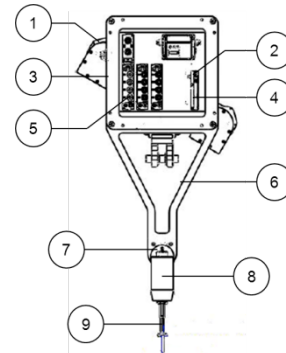


Klebeapplikationskopf

Induktions- Erwärmungskopf – Endeffektor [134]

Bestandteile des IEK sind:

- 1) Werkzeugwechsler WWR1160L mit Adapterplatte
- 2) MicroEpsilon Controller
- 3) Ceia PowerCube 32-400
- 4) Feste Ventilinsel
- 5) Feldbus I/O
- 6) Trägereinheit
- 7) Festo Schwenkantrieb 54571
- 8) Ceia Ausgangsübertrager HH 10
- 9) Micro Epsilon Pyrometer CT-SF 22



IEK Endeffektor

Technische Daten

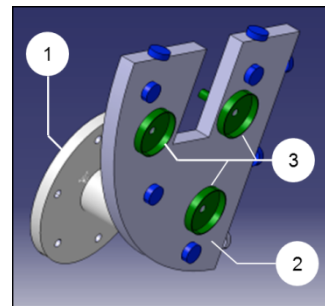
Volumenstrom Dosiereinheit	: max. 10mL/s
Beheizbare Kartuschenhalter	: max. 70°C ±1K

Weitere Informationen zum Klebeapplikationskopf siehe [137].

Frame-Greifer [101]

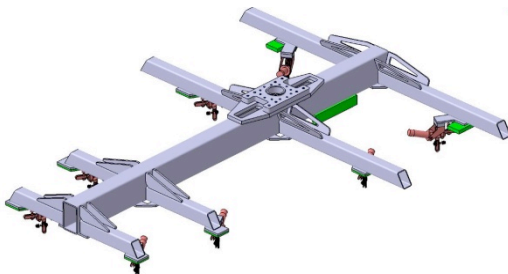
Elemente des Frame-Greifers sind:

- 1) Vakuum-Anschluss
- 2) Werkzeughalter
- 3) 3 x Saugteller

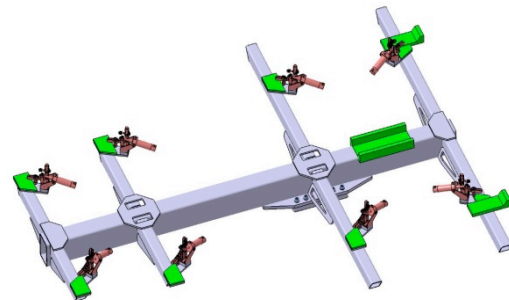


CAD Darstellung des Frame-Greifers

Framework-Greifer [138]

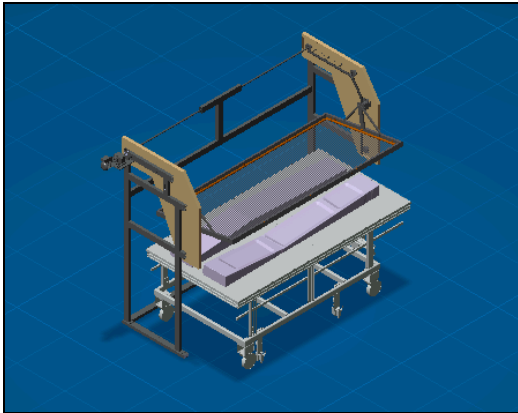


Framework-Greifer Oberseite in 3D Darstellung



Framework-Greifer Unterseite in 3D Darstellung

Diaphragmanlage [139]



Haube geöffnet



Haube geschlossen

- Hochleistungs-Öl-Vakuumpumpe 40m³h

Kenndaten

Typenbezeichnung	: Ra 0040 F503
Maschinenbezeichnung	: Fezer Drehschieber Vakuumpumpe (ölgeschmiert)
Maschinennummer	: 572 757
Baujahr	: 04/2009
Motoren	: 1,1 kW

- Heiz-Kühl-Vakuumplatte (Arbeitsplatte)

Technische Daten

Abmessung	: 2700 x 1700 x 43 mm, rückseitig 38mm Isoliermaterial
Netto-Arbeitsfläche	: 2500 x 1500 mm
Max. Nutzlast	: 3000 kg
Gesamtanschlußleistung	: 3 kW
Betriebsspannung	: 400 Volt, 50 Hz

- ELKOM-Temperiergerät für Wärmeträgeröl

Technische Daten

Typenbezeichnung	: TT-388 Z
Abmessung	: 1290 x 720 x 1500 mm
Heizleistung	: 48 kW
Z-Pumpe Anschlusswert	: 1,8 kW
Pumpleistung	: max 5,5 bar, max 100 l/min
Saugbetrieb – Vakuum	: max 9 mWs
Kühlleistung	: 60 kW bei +200°C
Spannung	: 3x400V, 50 Hz

Weitere technische Details zur Diaphragmanlage siehe [115].

Industrielles Bügeleisen [58]

Technische Daten

Typenbezeichnung	: Fuzzy Iron #4050CE
Nutzbare Kontaktfläche	: 36 cm ²
Max. Temperatur	: 200 °C
Temperaturgenauigkeit	: ± 1,7 °C

Anschlussdaten

Betriebsspannung	: 220-240 Volt / 50 Hz
Leistung	: 135 Watt

RTM-Pressen [140]

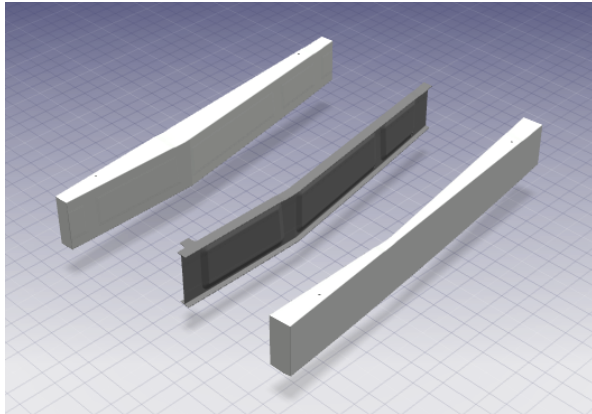
Aggregate

RTM-Pressen (inkl. Steuer-/Regeleinheit, Injektionsanlage, Anschlüsse und Harzfalle)

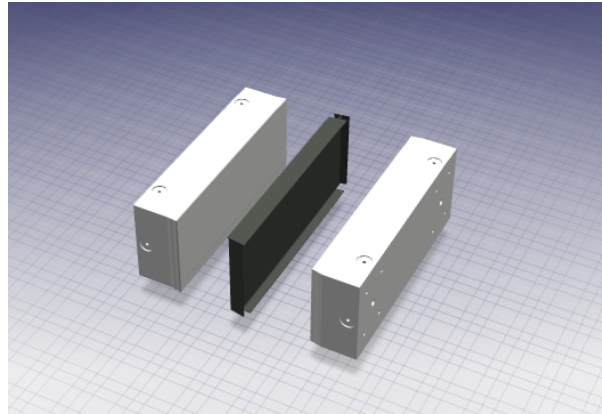
Technische Daten

Abmessungen	: Werkzeugspannplatten	: 2.000 – 3.000 mm
	Öffnungsweite (Pressen voll geöffnet)	: 1.300 mm
	Hub (max./obere Spannplatte beladen)	: 1.200 mm
	Tischhöhe über Flur	: 700 mm
	Höhe unter Kranhaken	: 7.455 mm
Werkzeuge	: Werkzeuggewicht	: 8.000 kg
	: Werkzeuggewicht Oberteil	: 4.000 kg
	: Max. Betriebstemperatur Werkzeug	: 220 °C
	: Min. Werkzeughöhe	: 100 mm
Hydraulik	: Max. Öltemperatur	: 50 °C
	: Max. Wasservorlauftemperatur	: 20 °C
Elektrik	: Hauptversorgung	: 3 x 400 V AC
	: Frequenz	: 50 Hz
Heizplatten	: Heiztemperatur	: 220 °C
	: Aufheizrate	: 3 °C/min
	: Abkühlrate	: 3 °C/min
Sekundärregelkreise	: Max. Heizleistung pro Regelkreis	: 325 kW
	: Max. Kühlleistung pro Regelkreis	: 325 kW
	: Max. Temperaturbereich	: 300 °C
	: Norm. Arbeitstemperatur	: 250 °C
	: Toleranz Temperatur Aufheizen/Abkühlen	: ± 6 °C
Kräfte	: Toleranz Temperatur in der Haltephase	: ± 2 °C
	: Schließkraft	: 450 - 10.000 kN
	: Schließkrafttoleranz bei 1.200 – 10.000 kN	: ± 1,5 bar
	: Schließkrafttoleranz bei 450-1.200 kN	: ± 0,5 bar
Werkzeugspannung	: Öffnungskraft (max.)	: 200 kN
	: Magnetspannkraft je Aufspannfläche	: ≥ 500 kN
	: Schalttemperatur	: 20 – 80 °C
Geschwindigkeiten	: Schließgeschwindigkeit Senken	: 2 - 150 mm/s
	: Öffnungsgeschwindigkeit	: 3 - 150 mm/s

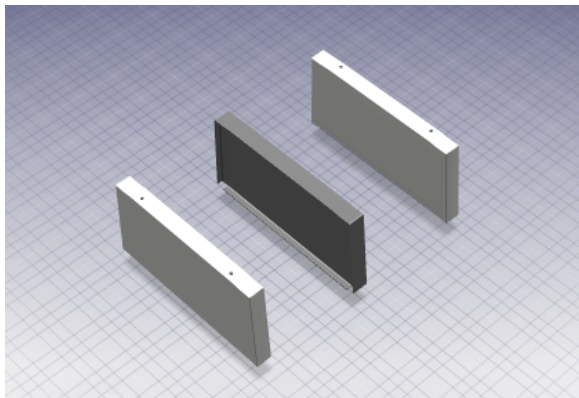
O2 Ressourcen – Formwerkzeuge



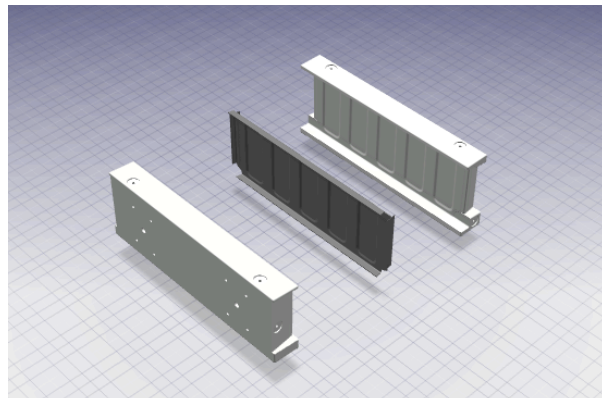
V1 Longeron_RH, IINST533M6012101
V2 Longerons_LH, IINST533M6011101



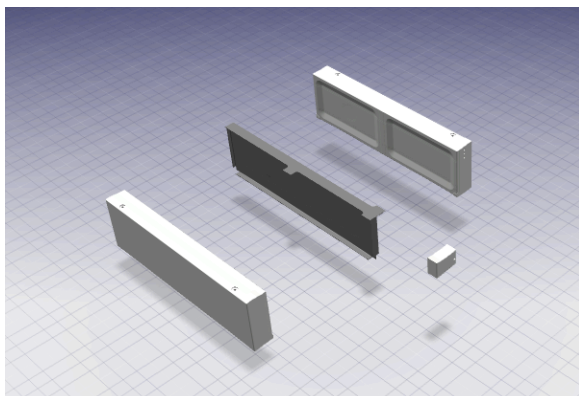
V3_Longeron_CT, INST533M601301



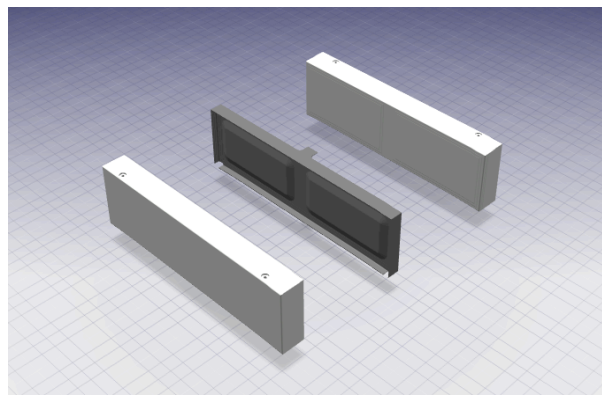
V4_Frame_1, INST533M6010101



V5_Frame_2, INST533M6020101

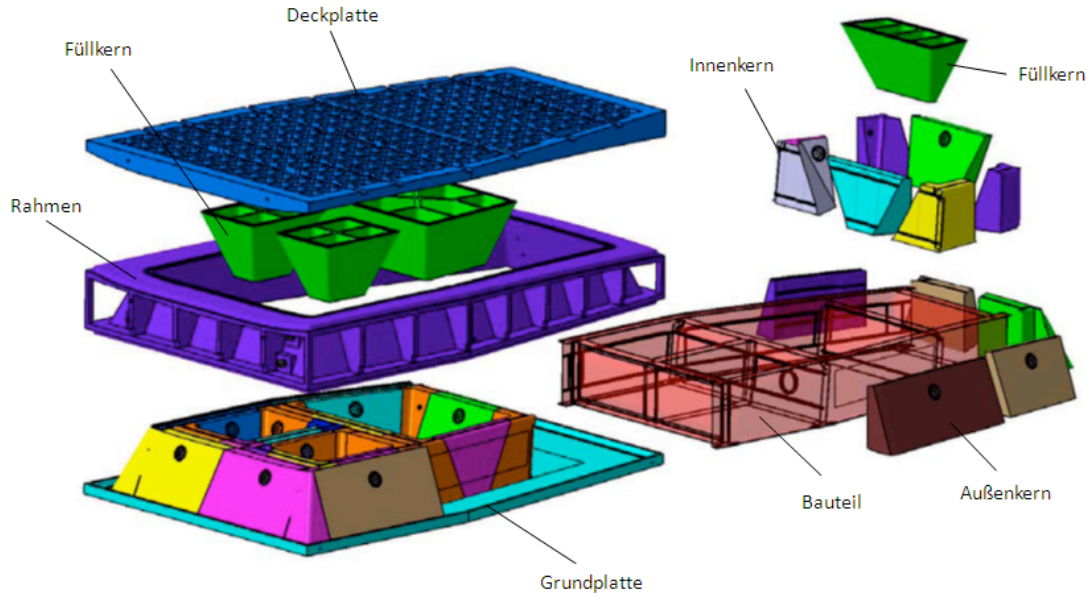


V6_Frame_3, INST533M6030101



V7 Frame 4, INST533M6040101

RTM-Formwerkzeug [141]

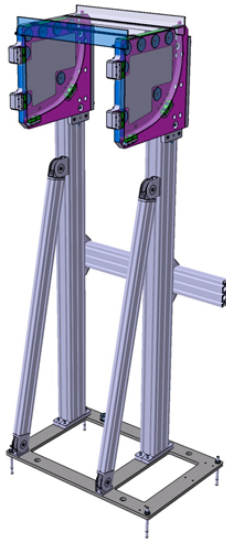


Baugruppen des RTM-Formwerkzeugs zum INSTRUKT Framework

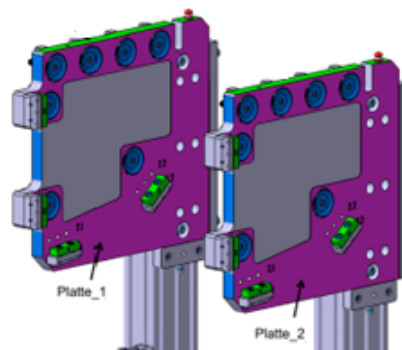
Das Warmformwerkzeug besteht aus den folgenden Elementen:

- Grundplatte, Deckplatte und Rahmen aus Stahl
- Außen- und Innenkerne aus Aluminium
- Füllkerne aus Aluminium
- 9 Thermoelemente
- 4 Injektionsanschlüsse und 4 Anschlüsse zur Absaugung im Rahmen
- 12 Reserve-Absauganschlüsse in der Deckplatte
- Keine integrierten Kanäle für Thermoöl

Frame-Station [88]

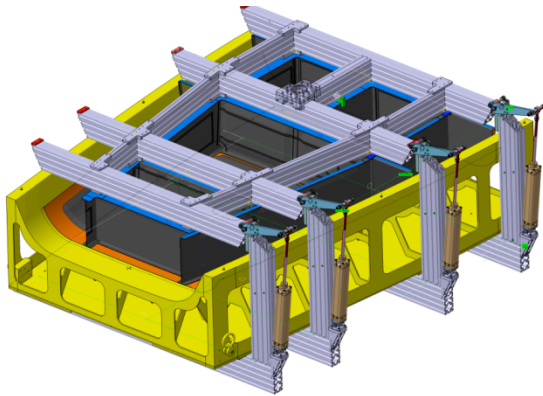


3D Modell der Frame-Station

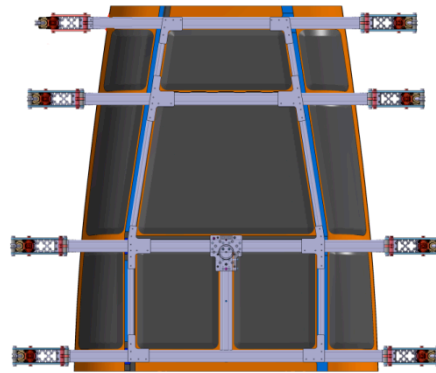


Darstellung der Auflageflächen

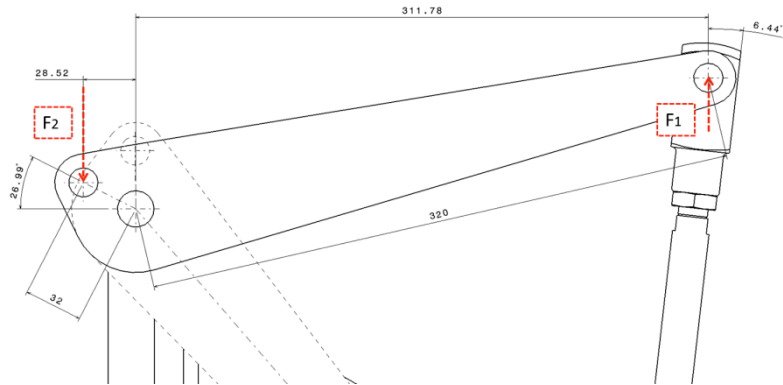
Station-Bodenschale [64,142]



Station Bodenschale in 3D Ansicht



Station Bodenschale in der Draufsicht



3D Modell eines Spannhebels (links) und Hebelmechanik (rechts)

Technische Daten

Hebelmechanik

Luftdruck	: 6,00	bar
Hebellänge 1	: 311,78	mm
Hebellänge 2	: 28,52	mm
Übersetzungsverhältnis	: 10,93	
Kraftangriffswinkel Zylinder	: 6,44	°
Zylinderkraft (bei 6 bar Druck)	: 1870 N	190,62 kg
resultierende Kraft auf Umlenkung	: 1858 N	189,42 kg
Kraft an Einspannstelle nach Übersetzung	: 20314 N	2070,72 kg

O3 Ressourcen – Material- & Bauteilspeicher

Station	Ressource	Typ	Szeanrio				Maße [mm]		
			1	2	3	4	L	B	H
1a	Rohmaterial-Speicher 1	Ballenkarussell	X	X	X	X	2500	2000	2000
1a	Speicher 1a	Behälter	X	X	X	X	1200	1000	150
1a	Speicher 1a	Tisch	X	X	X	X	2500	1200	900
1b	Rohmaterial-Speicher 2	Hochregallager	X	X	X	X	4500	3200	5250
1b	Speicher 1b	Regal	X	X	X	X	2200	1200	2000
2	Rohmaterial-Speicher3	Tisch				X	3500	2200	900
2	Speicher 2	Tisch			X	X	3500	2200	900
2a	Speicher 2a	Tisch	X	X			3500	1250	900
2b	Speicher 2b	Tisch	X	X			2000	1000	900
3	Speicher 3	Regal	X	X	X		2500	1500	900
3	Harzspeicher	Kühlschrank	X	X	X		800	700	2000
4	Speicher 4	Tisch				X	2000	1000	900

Speichereinrichtungen für Materialien und Bauteile zum Front-End

Montage-Station	Ressource	Typ	Szenario			Maße [mm]		
			1.1	1.2	2.0	L	B	H
1	Werkstückspeicher	Tisch	X	X	X	3100	2200	1000
1	Framespeicher	Regal	X	X	X	875	300	170

Speichereinrichtungen zum Back-End

O4 Ressourcen – Arbeits- & Drapiertische

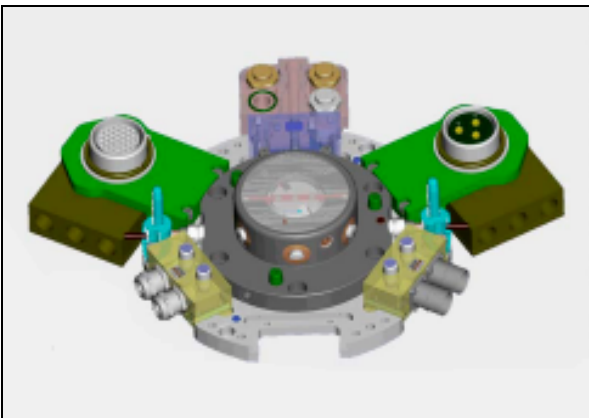
Station	Ressource	Typ	Szenario				Maße [mm]		
			1	2	3	4	L	B	H
1b	Arbeitstisch	Tisch	X	X	X	x	3000	1700	900
2/2a	Drapiertisch	Tisch	X			X	2600	1400	900
	Drapiertisch	L-Form					2000	1500	900
2/2a/2b	Arbeitstisch / NBS	Tisch		X			1750	800	900
2/2b	Drapiertisch / NBS	Tisch	X	X	X		2500	1200	900
3	Arbeitstisch / (NBS)	Tisch	X	X	X	X	2500	1500	900
4	Arbeitstisch / NBS	Tisch				X	2500	1500	900

Zuordnung der Arbeits- und Drapiertische

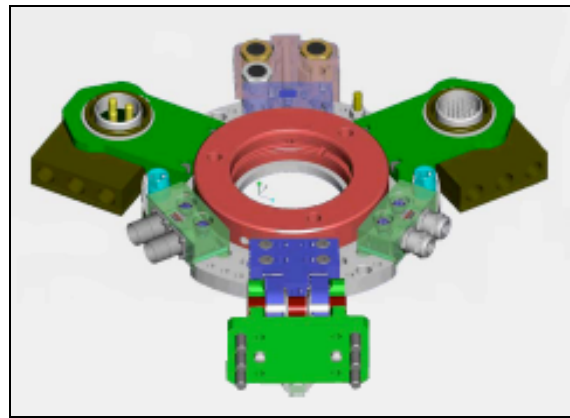
O5 Ressourcen – Werkzeugwechselsysteme

Merkmal	WWR1160F	WWR1160L
Verriegelungshub [mm]	1	-
Empfohlenes Handlinggewicht [kg]	500	-
Selbsthemmung beim Verriegeln	mechanische Feder	mechanische Feder
Energieübertragung fluidisch	optional	optional
Energieübertragung elektrisch	optional	optional
Betriebsdruck min./max. [bar]	6/8	-
Wiederholgenauigkeit \pm [mm]	0.02	0.02
Betriebstemperatur [°C]	5-80	5-80
Zylindervolumen pro Zyklus [cm ³]	48	-
Gewicht [kg]	9	6

Technische Daten zum WWR1160F (werkzeugseitig) und WWR1160L (roboterseitig), [143]



WWR1160L (Roboteranbindung) [116]



WWR1160F (Anbindung Effektor) [116]

O6 Ressourcen – Versorgungssysteme

Roboter	WZW Roboterseitig	WWR 1160F
	Energieelement (fest) 2x Kühlwasser, 1x Druckluft	WER 106F/28
	Energieelement (fest) Profinet & DC 24V	WER 106F/10
	Energieelement (fest) 2x8 polig AC 230V, DC 24V	WER 106FL08L08
	Energieelement (fest) 3 polig Erdung, DC 48V	WER 106FL0335
PDA Endeffektor	WZW Werkzeugseitig	WWR 1160L
	Energieelement (lose) Profinet & DC 24V	WER 106L/10
	Energieelement (lose) 2x8 polig AC 230V, DC 24V	WER 106LL08L08
	Energieelement (lose) 3 polig Erdung, DC 48V	WER 106LL0335
	Ablagestation	ALSR1-1200
ADP Endeffektor	WZW Werkzeugseitig (lose)	WWR 1160L
KAK Endeffektor	WZW Werkzeugseitig (lose)	WWR 1160L
	Energieelement (lose) Profinet & DC 24V	WER 106L/10
	Energieelement (lose) 2x8 polig AC 230V, DC 24V	WER 106LL08L08
	Energieelement (lose) 3 polig Erdung	WER 106LL0335
	Ablagestation	ALSR1-1200
IEK Endeffektor	WZW Werkzeugseitig (lose)	WWR 1160L
	Energieelement (fest) 2x Kühlwasser, 1x Druckluft	WER 106F/28
	Energieelement (fest) Profinet & DC 24V	WER 106L/10
	Energieelement (fest) 1x8 polig AC 230V	WER 106LL08L08
	Energieelement (lose) 3polig Erdung	WER 106LL0335
	Ablagestation	ALSR1-1200

Anschlusssituation und Energieelemente von Industrieroboter und Endeffektoren [116]

O7 Ressourcen – Transportmittel



Elektro-Stapler, Fa. Still RX60-50 [121]



Elektro-Schlepper, Fa. Still R08-20 [122]

Technische Daten

Merkmale	RX60-50	R08-20
Antrieb	Elektro	Elektro
Tragfähigkeit	< 5 t	< 2 t
Fahrzeug L/B/H	3896/1399/2320 mm	3590/1300/1820 mm
Fahrgeschwindigkeit (mit Last – ohne Last)	18 – 19 km/h	15 – 20 km/h
Gabelträger ISO2328	ISO III/A	-
Nennzugkraft	-	900 N
Ladevolumen H/L/B	-	840/2200/1300 mm

Kenndaten Elektro-Stapler (RX60-50) [121] und Elektor-Schlepper (R08-20) der Firma Still [122]

O8 Ressourcen – Messsysteme



Atos Triple Scan Sensor der Firma GOM [36]

Technische Daten [36]

Abmessungen	: ca. 570 x 262 x 340 mm
Spannungsbereich	: 90-240 V, 50-60 Hz
Leistungsaufnahme	: 130 W; max. 300 W
Kabellänge (Sensor / PC)	: 30 m
Messvolumen in Kameraposition	: 170 x 130 x 130 mm bis 1500 x 1130 x 1130 mm
Messpunkte pro Einzelscan	: ca. 5 Mio
Kameraauflösung	: 2448 x 2050 Punkte
Messpunktabstände	: 0,07 - 0,62 mm
Übertragung Bild- und Steuersignale	: per Gigabit-Datenverbindung über max. 2 Ethernetschnittstellen
Projektorlicht	: Künstliche optische Strahlung blau, 400-500 nm
Umweltbedingungen	: 5 - 40°C

O9 Ressourcen – Gebäudeflächen

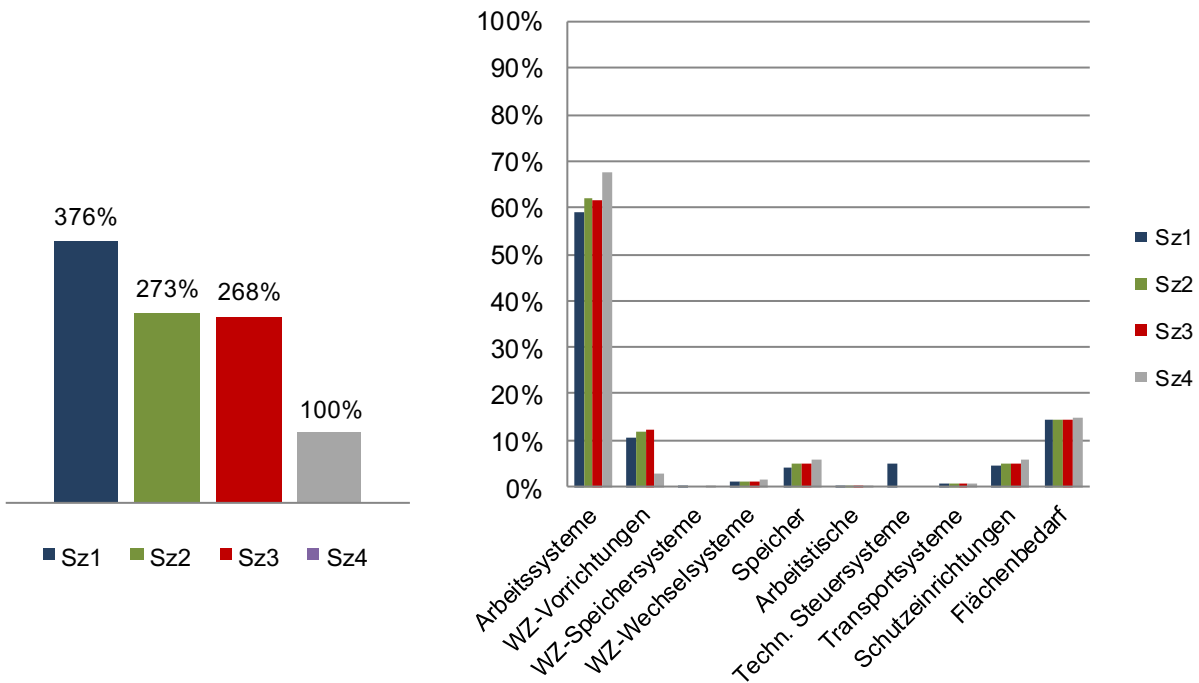
FET-Szenario	Station	L _{St} x B _{St} * [m]	Fläche [m²]
Alle	1a	7,5 x 5,6	42
Alle	1b	12,8 x 10	128
Sz 1	2a	9,8 x 9,3	91
Sz 2	2a	5,5 x 6	33
Sz 1, 2, 3, 4	2/2b	6,5 x 4	26
Sz 1, 2, 3	3	9 x 14	126
Sz 4	4	6 x 14	84
Sz 4	5	4 x 5	20

Stationsflächen der FET-Szenarien zum Front-End

FET-Szenario	Fläche [m²]
Sz 1	413
Sz 2	355
Sz 3	322
Sz 4	300

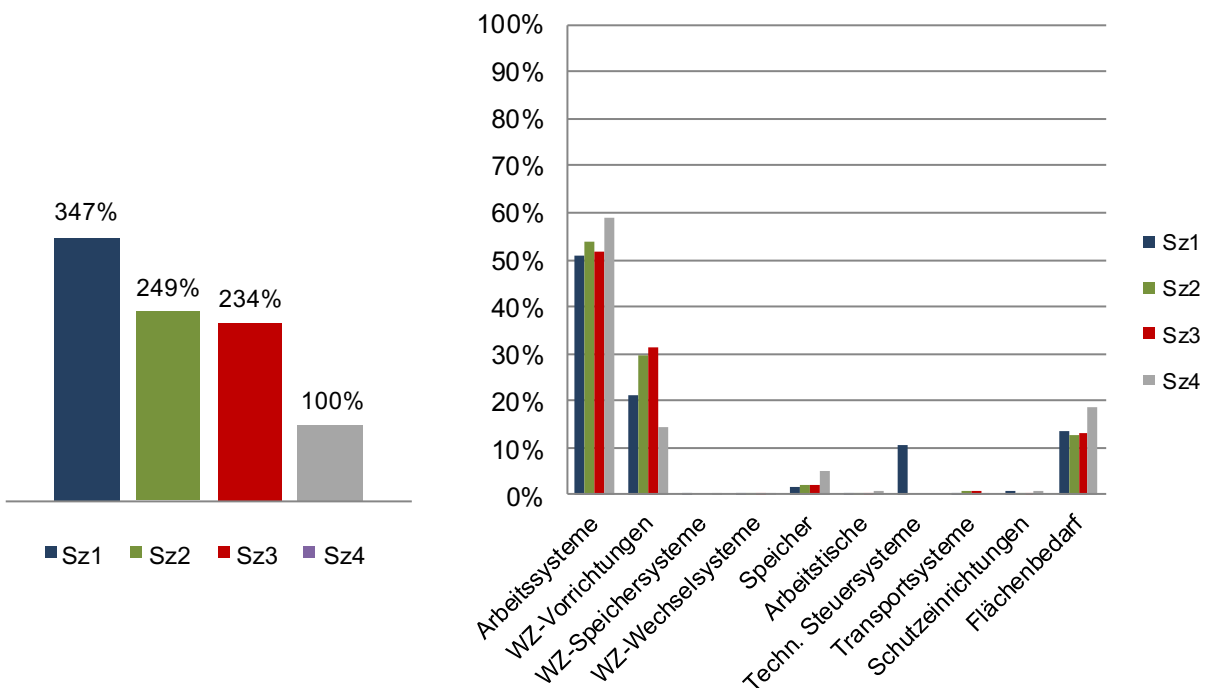
Gesamtflächenbedarf der FET-Szenarien zum Front-End

P Investitionsvolumina – Front-End Szenarien



Investitionsvolumina der Front-End Szenarien nach Fall B

Investitionsvolumina der Front-End Szenarien aus Fall B verteilt auf Ressourcenklassen



Investitionsvolumina der Front-End Szenarien nach Fall C

Investitionsvolumina der Front-End Szenarien aus Fall C verteilt auf Ressourcenklassen

Q1 Bewertungsmodell – Front-End Szenarien

NR	Bewertungskriterien		Gemittelte Gewichtung
1	Qualität 39%	Formgenauigkeit der hergestellten Framework-Struktur	5,2%
2		Lagegenauigkeit der Preforms in der Werkzeugvorrichtung	5,1%
3		Toleranzeinhaltung beim Zuschneiden	4,9%
4		Toleranzeinhaltung beim Drapieren	4,9%
5		Toleranzeinhaltung beim RTM (integrale Bauweise)	4,8%
6		Toleranzeinhaltung beim Autoklavaushärten und Montage (differentiale Bauweise)	4,8%
7		Reproduzierbarkeit	4,9%
8		Messbarkeit	4,7%
9	Kosten, Produktivität & Wirtschaftlichkeit 26%	Investitionen	4,8%
10		Kapitalwert	3,8%
11		Stückkosten	3,7%
12		Herstellkosten	3,5%
13		Ausbringungsmenge	3,5%
14		Durchlaufzeit	3,5%
15		Belegung	3,4%
16	Flexibilität 22%	Einsatzflexibilität	3,4%
17		Anpassungsflexibilität	3,7%
18		Durchlauffreizügigkeit	3,3%
19		Produktionsredundanz	3,0%
20		Erweiterungsfähigkeit der quantitativen Kapazität	3,2%
21		Erweiterungsfähigkeit der qualitativen Kapazität	2,6%
22		Speicherfähigkeit	3,3%
23	Sicherheit & Zuverlässigkeit 8%	Arbeitsschutz	1,9%
24		Sicherheit von Arbeitsmaschinen	1,6%
25		System-Zuverlässigkeit	1,3%
26		System-Verfügbarkeit	2,9%
27	Ergonomie 5%	Handhabungsaufwand	1,5%
28		Zugänglichkeit	1,7%
29		Bedienerfreundlichkeit	1,2%
30		Wartungs-, Instandhaltungs- & Reparaturfreundlichkeit	1,0%

Q2 Bewertungsmodell – Back-End Szenarien

NR	Bewertungskriterien		Gemittelte Gewichtung
1	Qualität 37%	Formgenauigkeit der hergestellten Struktur	5,0%
2		Lagegenauigkeit der Montageteile im Werkzeug	5,0%
3		Toleranzeinhaltung bei der Oberflächenvorbehandlung	4,3%
4		Toleranzeinhaltung beim Shimm-/Kleben	4,9%
5		Toleranzeinhaltung beim Fügen	5,0%
6		Toleranzeinhaltung beim Induktionshärten	3,8%
7		Reproduzierbarkeit	4,8%
8		Messbarkeit	4,7%
9	Kosten, Produktivität & Wirtschaftlichkeit 26%	Investitionen	5,0%
10		Materialkosten	3,2%
11		Fertigungskosten	3,8%
12		Herstellkosten	3,4%
13		Ausbringungsmenge	3,5%
14		Durchlaufzeit	3,4%
15		Belegung	3,4%
16	Flexibilität 23%	Einsatzflexibilität	3,4%
17		Anpassungsflexibilität	3,4%
18		Durchlauffreizügigkeit	3,3%
19		Produktionsredundanz	3,4%
20		Erweiterungsfähigkeit der quantitativen Kapazität	3,4%
21		Erweiterungsfähigkeit der qualitativen Kapazität	2,7%
22		Speicherfähigkeit	3,2%
23	Sicherheit & Zuverlässigkeit 9%	Arbeitsschutz	2,2%
24		Sicherheit von Arbeitsmaschinen	1,9%
25		System-Zuverlässigkeit	1,8%
26		System-Verfügbarkeit	3,1%
27	Ergonomie 6%	Handhabungsaufwand	1,7%
28		Zugänglichkeit	2,0%
29		Bedienerfreundlichkeit	1,1%
30		Wartungs-, Instandhaltungs- & Reparaturfreundlichkeit	1,5%

Glossar und Abkürzungen

ADP	Atmosphären-Druck-Plasma
ADU	Assembly Delivery Unit; z. dt. Liefereinheit des Zusammenbaus
AECMA	Aircraft European Contractors Manufacturers Association
Ag	Automatisierungsgrad
AHD	Airbus Helicopters Deutschland GmbH
AKS	Achskoordinatensystem
Anlage	Als Anlage wird im Kontext eine zusammenhängende Fertigungseinrichtung verstanden, die mehrere Komponenten umfasst. Diese Komponenten können u.a. Maschinen, Roboter, Fördereinrichtungen oder Steuerung sein [144]
Arbeitsraum	Raum, der einer oder mehreren Personen innerhalb des Arbeitssystems zur Durchführung der Arbeitsaufgabe zugeordnet wird [82].
Arbeitssystem	System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen [82]
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
AT	Arbeitstag
Ausfall	Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen [145]
Automatisierungsgrad	Quotient aus der Menge der zum jeweiligen Prozess bereits automatisierten Funktionen zur Menge sämtlicher erforderlicher Funktionen [16]
AVO	Arbeitsvorgang
AWL	Anweisungsliste
Back-End	z. dt. Prozesskette - Montage Hubschrauber Bodengruppe
BC	Buffer Condition; z. dt. Speicherbedingung
BCL	Batch Control Language
Best-Fit	Modell zu dem bezogen auf eine Referenzebene die optimale Position beschrieben wird.
Betriebsmittel	Die Betriebsmittel sind zur Durchführung eines Produktionsprozesses notwendig und werden in Ver- und Entsorgungsanlagen, Fertigungsmittel, Mess- und Prüfmittel, Fördermittel, Lagermittel, Organisationsmittel und Innenausstattungen gegliedert [144]
Bottom Up	Ansatz in der Prozessplanung
BGBI	Bundesgesetzblatt
BKS	Bezugskoordinatensystem
BMI	Bismaleimid
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BW	Barwert
C, C++	Bez. einer höheren Programmiersprache
CAD	Computer Aided Design; z. dt. rechnerunterstützte Konstruktion
CAT Part	Dateiformat der Software CATIA
CDF	Customer Definition Freeze; z. dt. Festlegung der Kundenanforderungen
CFK	Carbonfaserverstärkter Kunststoff

CI	Configuration Item; z. dt. Konfigurationseinheit
CNC	Computerized Numerical Control; z. dt. computergestützte numerische Steuerung
Commercial Planning	bei Airbus vereint diese Planung sämtliche Aktivitäten zur Erfüllung von Kundenanforderungen (inkl. Auslegung v. Luftfahrzeugen Zielpreisvereinbarungen etc.) vgl. [7]
CT	Centre Tail; innerhalb der Frameworkstruktur mittig angeordnetes Strukturbauteil.
Customer & Sales	dt. Bez. Endkundenvertrieb
Define Strategy	z. dt. Definiere Strategie o.a. erster Teilprozess der IPP in F&E
Design	Satz technischer Ausgabedaten des Designprozesses, der die funktionellen und physischen Merkmale eines Produktes oder eines Systems beschreibt [146]
Detail Design	z. dt. Kernprozess des Engineering, zu dem Daten der Architektur, Design Spezifikationen und technische Anforderungen vollständig definiert und festgelegt werden
Develop, Validate & Verify	dt. Bez. Entwickle, Validiere & Verifiziere
- Concepts	- Konzepte o.a. zweiter Teilprozess der IPP in F&E
- Draft Scenarios	- Entwurfsszenarien o.a. dritter Teilprozess der IPP in F&E
Differentialbauweise	In der differentialen Bauweise wird die Herstellung von komplexen Strukturen in einzelne Segmente zerlegt und anschließend in der Montage zum anfänglich geplanten Modell zusammengesetzt [20]
Digitale Fabrik	Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und 3D-Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt [147]
Digital Mock-up	z. dt. Digitales Computermodell des Zusammenbaus
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DLZ	Durchlaufzeit
DMU	Digital Mock-Up
DPE	DELMIA Process Engineer
DPM	DELMIA Process Manufacturing
Durchlaufzeit	Die Durchlaufzeit beschreibt die Zeitdauer zwischen dem Zeitpunkt der Eingabe eines Auftrages in die Fertigung und dem Zeitpunkt des Ausstoßes aus der Fertigung [144]
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
EASA	European Aviation Safety Agency
EBOM	Engineering Bill of Material; z. dt. Stückliste des Engineering
ECD	Eurocopter Deutschland
ECS	Eurocopter Standard
EG	Europäische Gemeinschaft
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
Engineering Planning	bei Airbus umfasst diese Planung sämtliche Aktivitäten aus dem Engineering, welche kundenspezifische Anpassungen erfordern [7]
F	Feinplanung

FAI	First Article Inspection; z. dt. Erstmusterprüfung
FAL	Final Assembly Line; z. dt. Endmontage
Failure Mode Effects & Analysis	dt. Bez. Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
FAQ	First Article Qualification; z. dt. Qualifizierung des ersten Produktionsartikels
FAR	Federal Aviation Regulations
FEK	Fertigungseinzelkosten
FEMI	Fertigungshilfsmittel
FET	Fertigung
FGK	Fertigungsgemeinkosten
FIFO	First-In–First-Out
FK	Fertigungskosten
FMEA	Failure Mode Effects & Analysis; z. dt. Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
FOT	Flight Operational Test; z. dt. Flugbetriebstest
FP	Final Preform; z. dt. finales Faserverbundhalbzeug
Frame	z. dt. Strukturbauteil eines Querträgers
Front-End	Prozesskette zur Herstellung eines Hubschrauber Frameworks
FUB	Funktionsbausteinsprache
Fügen	Dauerhaftes Verbinden mehrerer Körper oder von Körpern mit formlosem Stoff
FVW	Faserverbundwerkstoff
FVK	Faserverstärkter Kunststoff
F&E	Forschung und Entwicklung
F-Plan	Fertigungsplan
G	Grobplanung
GOM	Gesellschaft der Optischen Messtechnik
Handhaben	Handhaben ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegeben räumlichen Anordnung von geometrisch definierten Körpern in einem Bezugskoordinatensystem [37]
HK	Herstellkosten
HNZ	Hauptnutzungszeit
HPG	Hand-Programmiergerät
H/C	Helicopter; z. dt. Hubschrauber
H/O	Hand Over; z. dt. Übergabe des Luftfahrzeugs
I	Ist - steht im Zusammenhang mit der IST-Planung
IEK	Induktions- Erwärmungskopf
IFR	International Federation of Robotics; z. dt. Internationaler Verband der Robotikindustrie mit Sitz in Frankfurt am Main
Industrial Planning	Prozess, zu dem Vereinbarungen und vorbereitende Maßnahmen zu treffen sind, um die Fertigung und Herstellung von industriellen Gütern oder Waren zu ermöglichen [7]
Industrieroboter	Universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei (d.h. ohne mechanischen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind [37]
Inline	z. dt. in eine Fertigungsline integriert
Input	z. dt. Eingang o.a. Eingabe

Integralbauweise	Die Integralbauweise ist geprägt von dem Bestreben, eine größtmögliche Anzahl von Einzelbauteilen als Baugruppe in einem einzigen Fertigungsvorgang herzustellen [20]
INSTRUKT	Abk. für Integrierte Struktur und Bez. eines Forschungsprojektes
IPP	Integrierte Produktions- Programmplanung
ISO	Industrial Standard Organization; z. dt. Internationale Organisation zur Standardisierung von Industrienormen
IT	Informationstechnologie
IVW	Institut für Verbundwerkstoffe
IWB	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
JIT	Just In Time
K	Konzept
KAIZEN	Methode zur kontinuierlichen Verbesserung
KAK	Klebe- Applikationskopf
KANBAN	Verbrauchsorientierte Fertigungsmethode auch bekannt als Just in Time – Prinzip, zu dem ein Fertigungsauftrag über den Austausch sog. KANBAN Karten erfolgt
Kinematische Kette	Beschreibung der Folge von Gelenken eines Industrieroboters [39]
KOP	Kontaktplan
KW	Kapitalwert
L	im Kontext linkes Kameraobjektiv o.a. Leitrechner
Layout	Im weiteren Sinne die Planung, Anordnung, Auslegung, Anlage, Plan, Entwurf, Gestaltung, Aufmachung [148]
LCC	Lehrstuhl für Carbon Composite
LE	Lineareinheit
LEAN	Lean steht oft im Zusammenhang mit dem Lean Management o.a. Lean Production; letzteres entspricht der dt. Bez. Schlanke Produktion
LH	left hand; z. dt. linkshändig.
LMP	Labor für Materialien und Prüftechnik
Longeron	z. dt. Strukturbauteil eines Längsträgers
LR	Abk. engl. Longeron
M	Montage
MAT	Material
Match Sales & Production	z. dt. Angleichen der Produktion und Absatzzahlen o.a. erster Teilprozess der Serienprogrammplanung der Firma Airbus
Materialfluss	Materialfluss ist die Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von stofflichen Gütern innerhalb festgelegter Bereiche [149]
MBOM	Manufacturing Bill of Material; z. dt. Stückliste der Fertigung
ME	Mengeneinheit
MEK	Materialeinzelkosten
Messen	Messen ist Feststellen eines Wertes als Vielfaches einer Bezugsgröße [37]
Messmittel	Messgerät, Software, Messnormal, Referenzmaterial oder apparative Hilfsmittel oder eine Kombination davon, wie sie zur Realisierung eines Messprozesses erforderlich sind [9]
Metallbauweise	Im Hubschrauberbau entspricht die Metallbauweise zumeist einer aus Blechen gefügten metallischen Struktur o.a. Bauteil
MGK	Materialgemeinkosten
MFC	Multifunktionscutter

Mischbauweise	Mischbauweisen sind zumeist geprägt durch die Zusammenführung von einfachen mit komplexen Materialien und Bauteilen [20]
MK	Materialkosten
MKS	Messkoordinatensystem
MMS	Mensch- / Maschine Schnittstelle
Modell	Ein Modell ist eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System [148]
Monitor & Control Program	z. dt. Überwachung und Steuern von Programmen o.a. dritter Teilprozess der Serienprogrammplanung der Firma Airbus
Monolithische Bauweise	z. dt. bedeutet monolithisch einheitlich aus einem Ganzen bestehend. In der FVW-Technologie entspricht die monolithische Bauweise der Faserverbundbauweise ohne Einbeziehung von Kernsystemen
MoU	Memorandum of Understanding; z. dt. Aufnahme der Kundenanforderungen
MS	Firmenbezeichnung Microsoft
MTBF	Mean Time Between Failure; z. dt. mittlere Zeit bis zum Fehlereintritt
MTTR	Mean Time To Repair; z. dt. mittlere Raperaturzeit
M-Plan	Materialflussplan
NBS	Nachbearbeitungsstation
NCF	Non Crimpt Fibre; z. dt. Gelege
NH90	Programm-Bez. Nato Helicopter aus den 90er Jahren
OG	Orientierungsgrad
OKS	Objektkoordinatensystem
OL	Order List; z. dt. Bestellliste
On-Flight	z. dt. während einer Bewegung in Echtzeit
Output	z. dt. Ausgabe o.a. Produkt
OZ	Ordnungszustand
P	Im Kontext Prozess, Prüfen o.a. Projektionslaser
PA	Im Kontext Produktionsauftrag o.a. Polyamid
PAT	Prozess Analyse Tool
PAX	Passengers; im Kontext z. dt. Personenausstiegstür
PBZ	Planbelegungszeit
PDA	Pick & Drape & Activate
PE	Produktionseinheiten
PG	Positionierungsgrad
PGS	Plexiglasscheibe
PMI	Polymethacrylimid
Positionieren	Positionieren ist das Bewegen eines Körpers aus einer unbestimmten in eine vorgegebene Position [37]
PPR	Produkt, Prozess, Ressource
PPS	Produktionsplanung und Steuerung
Preform	Vorförmling o.a. Halbzeug
Preliminary Design	z. dt. Kernprozess des Engineering, in dem konzeptrelevante Daten der Architektur, Design Spezifikation und technische Anforderungen mit approximierten Angaben aufbereitet werden
Prepreg	z. dt. vorimprägnierte Matte, Gewebe oder Gelege
Produkt	Ergebnis eines Prozesses [9]

Produktionsplanung	Sie umfasst die Planung von Produktionsprozessen, Produktionssystemen und industriellen Produktionsstätten sowie die Überwachung der Realisierung bis zum Anlauf der Produktion [147]
Prüfen	Prüfen ist Feststellen, ob Körper vorgegebene Bedingungen erfüllen [37]
Prüfung	Konformitätsbewertung durch Beobachten und Beurteilung, begleitet – soweit zutreffend – durch Messung, Testen oder Vergleichen [150]
Publish & Cascade Program	z. dt. Publizieren und Kaskadieren von Programmen o.a. zweiter Teilprozess der Serienprogrammplanung der Firma Airbus
Pull	z. dt. ziehen; im Zusammenhang der PPS ein verbrauchsorientiertes Prinzip o.a. System der Produktion
Push	z. dt. schieben; im Zusammenhang der PPS ein traditionelles Prinzip o.a. System der Produktion
P&D	Pick & Drape; z. dt. Legeverfahren zur Aufnahme und Ablage von Faserhalbzeugen
P&W	Pick & Weld; z. dt. Fertigungsverfahren zum Aufnehmen, Ablegen und Verschweißen von TRs
Q	Qualität o.a. Qualitätskontrolle
Qualifizierung	Satz von Aufgaben, mit denen auf der Grundlage theoretischer und experimenteller Begründungen Nachweise erbracht werden, dass das definierte Produkt das spezifizierte Erfordernis erfüllt und produziert werden kann [146]
Qualität	Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt [9]
Qualitätsmerkmal	Inhärentes Merkmal eines Produkts, Prozesses oder Systems, das sich auf eine Anforderung bezieht [9]
QFD	Quality Function Deployment; dt. Bez. für eine QM-Methode
QM	Qualitätsmanagement
QS	Qualitätssicherung
HoQ	engl. House of Quality
House of Quality	z. dt. Qualitätshaus o.a. Werkzeug der QFD
R	im Zusammenhang Ressource o.a. rechtes Kameraobjektiv
RAM	Random Access Memory
RC	Resource Condition; z. dt. Ressourcenbedingung
REFA	Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. mit Sitz in Darmstadt
Resin Transfer Moulding	z. dt. Harz- Infiltrationsverfahren in geschlossener Werkzeugform
Ressource	Unter Ressource werden alle Mittel verstanden, die zur Durchführung eines Prozesses oder allgemein zur Erfüllung einer Aufgabe notwendig sind [144]
RH	right hand; z. dt. rechtshändig
Risiko	Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Schadens und seines Schadensausmaßes [151]
Robcad	Software von Tecnomatrix der Firma Siemens
RTM	Resin Transfer Moulding
R-Plan	Ressourcenplan
S	im Zusammenhang Schichtmodell, Sektion o.a. Schleife
Sandwichbauweise	Bei der Sandwichbauweise werden hochfeste Verbundwerkstoffe um einen schubsteifen Kern eingebettet, vgl. [20]
SAP	System-Anwender-Software der Firma SAP
SCL	Simulation Control Language

Schlauchbauweise	Die Herstellung von Bauteilen innerhalb eines Formwerkzeugs mit eingelegetem Schlauch entspricht der Schlauchbauweise
Schutzmaßnahme	Maßnahme zur vorgesehenen Minderung des Risikos [145]
SD	Single Diaphragma
Sec Def Freeze	Section Definition Freeze; dt. Bez. Festlegung von Sektionen bei Luftfahrzeugen
Simulation	Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt [148]
Single Diaphragma	z. dt. Herstellungsverfahren von Faserpreforms mit einer Diaphragmahaube
SP	Sub Preform; Zwischenprodukt eines Preforms
Speichern	Im Materialfluss dient Speichern dem Aufbewahren stofflicher Vorräte [37]
Spot Curing	z. dt. Induktionshärten
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
ST	Station
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
Struktur	(lat. Struere, engl. Structure) ist die wirksame Gesamtheit des Verbundes, aber auch das formgebende und tragende Skelett (Gerüst) des Bauteils oder die komplexe Konstruktion [152]
Störung	Fehlende, fehlerhafte oder unvollständige Erfüllung einer geforderten Funktion durch die Einheit [153]
Supply Chain	Eine Supply Chain bezeichnet die Versorgungskette vom Rohstofflieferanten über die Fertigung bis zum Kunden [144]
System	Menge miteinander in Beziehung stehender Elemente, die in einem bestimmten Zusammenhang als Ganzes gesehen und als von ihrer Umgebung abgegrenzt betrachtet werden [154]
Sz	Szenario
T	Transport
TCCA	Transport Canada Civil Aviation
TCP	Tool Center Point; z. dt. Werkzeugmittelpunkt
TH	Transporthilfskraft
TM	Transportmittel
ToT	Transfer of Title; z. dt. Übertragung der Luftfahrzeugpapiere
Top down	Methodischer Ansatz in der Prozessplanung
TR	Tailored Reinforcement; z. dt. Lagenverstärkung
Trennen	Fertigen durch Aufheben des Zusammenhaltens von Körpern, wobei der Zusammenhalt teilweise oder im Ganzen vermindert wird [15]
TPZ	Technische Planzahl
Urformen	Fertigen eines festen Körpers aus formlosem Stoff durch Schaffen des Zusammenhalts [15]
USS	Ultraschallschweißen
V	Vorrichtung
Validierung	Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass die Anforderungen für einen spezifischen beabsichtigten Gebrauch oder eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt worden sind [9]
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
Verifizierung	Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass festgelegte Anforderungen erfüllt worden sind [9]
VP	Verkaufspreis
VPM	Virtual Product Management; z. dt. virtuelles Produkt Management
VPP	Versuchs- und Prüfplan
VS	im Zusammenhang Lagenverstärkung o.a. Verstärkungselement
W	Werkler
WA	Warenausgang
Wartungsfreundlich	Möglichkeit, eine Maschine in einem Zustand zu erhalten oder in einen Zustand zurückzusetzen, in dem sie ihre Funktion unter den Bedingungen der bestimmungsmäßigen Verwendung erfüllen kann, wobei die notwendigen Tätigkeiten (Instandhaltung) nach festgelegten Verfahren und unter Anwendung festgelegter Mittel ausgeführt werden [151]
WE	Wareneingang
WKS	Werkzeugkoordinatensystem
WW	Werkzeugwechsel
WWR	Werkzeugwechsler
WZ	Werkzeug
X	Bez. für H/C Entwicklungsprogramme
xml	Extensible Markup Language; Dateiformat der Software MS Excel
ZLP	Zentrales Labor für Prüftechnik
ZKS	Zellenkoordinatensystem
Zuverlässigkeit	Fähigkeit einer Maschine oder von deren Teilen oder Ausrüstung, eine geforderte Funktion unter festgelegten Bedingungen und für einen vorgegebenen Zeitraum ohne Ausfall zu erfüllen [151]
α	Kamerawinkel

Literatur

- [1] **Eurocopter Deutschland GmbH:** *(Teil-) Automatisierte Fertigung von Faserverbundbauteilen für zivile Hubschrauber (3-4 Tonnen MTOW) / „INSTRUKT“*, Förderantrag im Rahmen der Luftfahrtforschung und -technologie, Fkz. 20W0908, 01.10.2010, S. 7, 8
- [2] **Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.:** *Die zweite Revolution in der Automobilindustrie – Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology*, Campus Verlag Frankfurt/New York, 3. Auflage 1991; S. 232
- [3] **Seeger, N.:** Hochschule Konstanz Studienarbeit - Produktionslogistik 2, *Sourcing Strategien für japanische Automobilhersteller*, 12.2006, S. 2
- [4] **Schultheiß, W.:** *Lean Management - Strukturwandel im Industriebetrieb durch Umsetzung des Management Ansatzes*, Renningen-Malmsheim, expert-Verlag, 1995, S. 114
- [5] **Airbus Helicopters Deutschland GmbH (2014):** Programme Management, Intranet, url : <http://cms.host.cr.eurocopter.corp/FIRSTspiritWeb/eurocopter/de/navigation/prg/prgcom/prgcomhome/PrgMngt.jsp>, 15.02.2014
- [6] **Dorhöfer, F.; Horst, D.:** Prozesshandbuch Eurocopter Deutschland GmbH, ED022, Ausgabe A, 10.2003, S. 49, 69
- [7] **Seeger, N.:** University of Applied Sciences Constance / Airbus SAS, Master Thesis, *Development of the A380 Integrated Planning Manual*, 27.09.2010, A2 S. 9, 10, 11, 32, 47, 49, 73, 75, 77
- [8] **Oefner, W.:** Airbus Helicopters, Gesprächsnotiz vom 26.03.2014, 11:35 Uhr
- [9] **DIN EN ISO 9000:** *Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe, Dreisprachige Fassung*, Beuth Verlag, Berlin, 12.2005
- [10] **Stempfle, J.:** Airbus Helicopters, Gesprächsnotiz vom 28.03.2012, 14:15 Uhr
- [11] **Ebz Beratungszentrum (2010):** Internet, url:<http://www.ebz.beratungszentrum.de/ppsseiten/KANBAN/KANBAN2.htm>, 14.02.2010
- [12] **R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH:** R&G Waldenbuch/DLR Stuttgart, *Faserverbundwerkstoffe Handbuch R&G*, 06.2009, S. 11
- [13] **Seeger, N.:** Hochschule Konstanz / DLR Stuttgart, Bachelor Thesis, *Vogelschlag- resistente Anbauteile für das DLR-Höhenforschungsflugzeug HALO*, 17.07.2008, S. 31
- [14] **Seeger, N.; Mustaffa, M.; Zin, S.:** Hochschule Konstanz / DLR Stuttgart, CarbonIce-Studie, *Bewertung der Eigenschaften von Metallringgeflecht verstärkten Verbundwerkstoff-Bauteilen unter Impact*, 09.2007, S. 21
- [15] **DIN 8580:** *Fertigungsverfahren – Begriffe, Einleitung*, Beuth Verlag, Berlin, 09.2003

- [16] **Hesse, S.; Malisa, V.:** *Taschenbuch – Robotik-Montage-Handhabung*, Fachbuchverlag Leipzig, Carl Hanser Verlag, S. 13, 20, 45, 51
- [17] **International Federation of Robotics (2013):** Internet, url:<http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>, 30.06.2014
- [18] **Steindl, Ch.; Wolters, L.; Seeger, N.:** Proceedings - 3rd Aircraft structural design conference, *Automated production of large and complex single parts and assembly of H/C structures*, Delft - Netherlands, 10.2012; S. 2
- [19] **Welz, P.:** Präsentation, *Industrialisierung Hot Forming A350 PAX Door*, 01.2014, S. 5
- [20] **Flemming, M.; Ziegemann, G.; Roth, S.:** *Faserverbundbauweisen, Halbzeuge und Bauweisen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996, S. 28, 29, 33, 41, 197, 207, 211, 236
- [21] **Oefner, W.:** Airbus Helicopters, Gesprächsnotiz vom 26.03.2014, 14:20 Uhr
- [22] **Ehrenstein, G., W.:** *Faserverbund-Kunststoffe, Werkzeuge – Verarbeitung – Eigenschaften*, 2. überarb. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien, 2006, S. 166
- [23] **DIN 8593 Teil 0:** *Fertigungsverfahren Fügen Teil 0: Allgemeines – Einordnung, Unterteilung, Begriffe*, 09.2003
- [24] **Matek, W.; Muhs, D.; Manfred, B.; Jannasch, D.:** *Roloff/Matek Maschinenelemente*, 15. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig-Wiesbaden, 2001, S. 167
- [25] **VDI 2230, Teil 1:** *Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen zylindrischer Einschraubenverbindungen*, Beuth Verlag, Berlin, 02.2003
- [26] **N.N.:** *Handbuch Strukturberechnung – HSB; 24000-01*, Ausgabe C, 1986
- [27] **Oefner, W.:** Airbus Helicopters, Gesprächsnotiz vom 11.02.2014, 15:00 Uhr
- [28] **N.N.** *Methodenlehre der Planung und Steuerung, Teil 1: Grundbegriffe*, Hrsg. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Hanser Verlag, München – Wien, 1985
- [29] **N.N.** *Handbuch der Arbeitsvorbereitung, Teil 1: Arbeitsplanung*, Hrsg. Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung (AWF) e.V., Beuth Verlag, Berlin, 1968
- [30] **Airbus Helicopters:** VPM-Datenbank, *Architektur/Design – INSTRUKT Framework*, 11.2011
- [31] **DIN ISO 10007:** *Qualitätsmanagement – Leitfaden für Konfigurationsmanagement*, Beuth Verlag, Berlin, 12.2004
- [32] **Stöckle, A.; Kasper, M.:** Präsentation, *ADU Concept - Proposed Assembled Delivery Unit (ADU) Concept for Eurocopter Group*, 03.2009, S. 4
- [33] **Reinhart, G.; Straßer, G.; Ehinger, C.:** *Highly Flexible Automated Manufacturing of Composite Structures Consisting of Limp Carbon Fibre Textiles*, SAE Int. J. Aerosp. 2(1):181-187, 2010, doi:10.421/2009-01-3213

- [34] **Ehinger, C. A.:** Dissertation: *Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorformlingen*, Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik der Technischen Universität München, 25.09.2012
- [35] **Plasmatreteat (2013):** Internet, url:<http://www.plasmatreteat.de>, 14.07.2013
- [36] **Gesellschaft für Optische Messtechnik:** Benutzerhandbuch, *Hardware, Atos II*, Rev.02, 06.11.2011, S. 6, 9, 14
- [37] **VDI 2860 Teil 3:** *Montage und Handhabungstechnik – Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen, Begriffe Definitionen, Symbole*, Beuth Verlag, Berlin, 05.1990
- [38] **Eurocopter Deutschland GmbH:** *Koeffizienten Rang - DELMIA Process Engineer*, 05.2012
- [39] **Nitschke, H.:** Dissertationen: *Zur Bestimmung geometrischer Parameter von Industrierobotern*, Heft Nr. 547, Verlagsbuchhandlung München, 2002, S. 10, 13-14, 21, 74
- [40] **KUKA:** *KUKA Software, Produkte & Dienstleistungen*, 01.2006
- [41] **Airbus (2010):** Intranet, *Airbus Lexinet – Station*, 05.08.2010
- [42] **Daimler-Benz Aerospace:** Airbus BOH1-111, *Flugzeug – Aufgliederung (Bezugsebenen, Stationen, Sektionen und Zonen)*, 10.1996
- [43] **Linß, G.:** *Qualitätsmanagement für Ingenieure*, 3. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München, 2001, S. 194-212
- [44] **VDI/VDE 3694:** *Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen*, Beuth Verlag, Berlin, 01.2008
- [45] **DIN 69905 Teil 5:** *Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 5: Begriffe*, Beuth Verlag, Berlin, 01.2009
- [46] **Seeger, N.; Maute, Ch.; Goh, D.; Goh, Ch. Y.:** University of Applied Sciences Constance / Fraunhofer IPA - Productivity Research Study: *3-D simulation of a thin film solar module production line*, 01.2010; S. 48-32
- [47] **Kruschwitz, L.:** *Investitionsrechnung*, Oldenburger Verlag München Wien, 2007, S. 31, 35, 43, 45, 74, 102
- [48] **Olfert, K.:** *Investition*, NWB Verlag, Herne, 2012, S. 85, 89, 115
- [49] **Dahmen, A.:** *Investition*, Verlag Franz Vahlen, München, 2012, S. 28
- [50] **Seeger, N.:** Eurocopter Projektplan, *Manual of the Process “Design & Develop Airframes”*, 08.02.2012, S. 14
- [51] **Kühn, W.:** *Digitale Fabrik – Fabriksimulation für Produktionsplaner*, Carl Hanser Verlag München Wien, 2006, S. 203-279

- [52] **Siemens (2014):** Robcad Produktübersicht, Internet, url:https://www.siemens.com/de_de/products/tecnomatrix/robotics_automation/robcad, 23.03.2014
- [53] **DIN ISO 2768 Teil 1:** *Allgemeintoleranzen – Toleranzen für Längen und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung*, Beuth Verlag, Berlin, 06.1991
- [54] **DIN ISO 2768 Teil 2:** *Allgemeintoleranzen – Toleranzen für Form und Lage ohne einzelne Toleranzeintragung*, Beuth Verlag, Berlin, 04.1991
- [55] **DIN ISO 1101:** *Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Geometrische Tolerierung – Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf*, Beuth Verlag, Berlin, 08.2008
- [56] **Gubernatis, S.; Böhm, J.:** Eurocopter Spezifikation, *Pick & Drape & Activate Funktionskopf zum automatischen Aufbau von CFK-Preformen*, Version D, 20.12.2012, S. 9-10
- [57] **Obenhofer, L.; Razii, B.:** EI045 31-2910, *Herstellen von Bauteilen aus vorimprägnierten Faserwerkstoffen im Handlaminierverfahren*, 03.08.2011, S. 18.
- [58] **Texson:** Verpackungsbeschreibung Fuzzy Iron #4050CE, 2012
- [59] **Berner; Leistner:** MI S533M0106X04, *Herstellung von Composite-Bauteilen im Harzinjektionsverfahren auf einer Heizpresse (Resin-Transfer Moulding)*, 31.10.2008, Anhang Longeron 2, S. 1-15
- [60] **N.N.:** Airbus Technical Note S530M0502, E01 Issue E, 21.04.2011, S. 16-21
- [61] **Wehlan, H.; Bätge, N.:** Eurocopter Spezifikation, *Plasmafunktionseinheit zur Oberflächenvorbereitung von CFK-Strukturen*, Eurocopter, 23.03.2011, S. 7
- [62] **Fuhrmann, J.:** Gesprächsnotiz vom, 25.09.2013, 14:30 Uhr
- [63] **Wehlan, H.; Strobl, A.:** Eurocopter Spezifikation, *Applikation zum automatisierten Klebstoffauftrag*, 23.03.2011, S.11.
- [64] **Gänswürger, P.:** DLR-ZLP Zwischenbericht, *Status INSTRUKT*, 13.09.2012, S. 3, 4, 7, 8, 13-15
- [65] **Wehlan, H.; Strobl, A.:** Eurocopter Spezifikation, *Spot-Curing Einheit zur schnellen punktuellen Aushärtung von Shim- und Klebstoffen*, 08.03.2010, S. 10
- [66] **VDMA 66412 Teil 1:** *VDMA-Einheitsblatt, Manufacturing Execution (MES) Kennzahlen-Wirkmodell*, Beuth Verlag, Berlin, 10.2010
- [68] **Mertins, K.:** *Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme, Produktionstechnik – Berlin*, Carl Hanser Verlag München Wien, 1985
- [69] **Scharf, P.:** *Strukturen flexibler Fertigungssysteme*, 9.Auflage, Otto Krausskopf-Verlag, Mainz, 1976, S. 52, 109

- [70] **Ostermann, H-J.; Ostermann, B.:** Maschinenrichtlinie 2006/42/EG – *Konsolidierte Fassung mit Hyperlinks zum Online Kommentar Version 3.1*, 2006
- [71] **Europäischen Union:** Amtsblatt, *Richtlinie 2014/30/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung)*, 2014
- [72] **DIN EN 10218 Blatt 1:** *Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter*, Beuth Verlag, Berlin, 01.2012
- [73] **EN 60529 (VDE 04070, Teil1):** *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)*, Beuth Verlag (VDE-Verlag) Berlin, 09.2000
- [74] **Löhr, R. W.:** *Ergonomie – Grundlagen der Wechselbeziehungen zwischen Menschen, Technik und Umwelt*, Vogel-Verlag, Würzburg, 1976, S. 126 ff.
- [75] **Kirchner; Rohmert:** *Ergonomische Leitregeln zur menschengerechten Arbeitsgestaltung; Katalog arbeitswissenschaftlicher Richtlinien über die menschengerechte Gestaltung der Arbeit (BVG §§ 90,91)*, Carl Hanser Verlag, München Wien 1974, S. 30, 58, 72 ff.
- [76] **Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz / juris GmbH (2004):** Internet, url:http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/arbst_ttv_2004/gesamt.pdf, Verordnung über Arbeitsstätten - Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), Letzte Änderung erfolgte nach Art. 4 Verordnung vom 19.07.2010 (BGBl. I S. 960), Anfertigungsdatum: 12.08.2004
- [77] **DIN 33402 Teil 1:** *Ergonomie – Körpermasse des Menschen – Begriffe Messverfahren*, Beuth Verlag, Berlin, 03.2008
- [78] **DIN 33402 Teil 2:** *Ergonomie – Körpermaße des Menschen – Teil: 2 Werte*, Beuth Verlag, Berlin, 12.2005
- [79] **DIN 33406:** *Arbeitsplatzmaße im Produktionsbereich – Begriffe, Arbeitsplatztypen, Arbeitsplatzmaße*, Beuth Verlag, Berlin, 07.1988
- [80] **DIN 33411 Blatt 1:** *Körperkräfte des Menschen – Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen*, Beuth Verlag, Berlin, 09.1982
- [81] **DIN 33411 Blatt 5:** *Körperkräfte des Menschen – Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte*, Beuth Verlag, Berlin, 11.1999
- [82] **DIN EN ISO 6385:** *Grundsätze für die Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen*, Beuth Verlag Berlin, 05.2004
- [83] **DIN EN 614 Blatt 1:** *Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze*, Beuth Verlag, Berlin, 06.2009
- [84] **Böhm, J.; Hardt M.:** Eurocopter INSTRUKT AP4700-02, *Anforderungen an ein Greif- und Positionierwerkzeug einer automatisierten Montage von Faserverbundbauteilen*, Issue A, 29.02.2012, S. 8

- [85] **Reichensperger, C.; Steindl, C.:** Eurocopter INSTRUKT AP1400-01, *Detail Design of Framework*, Issue A, 18.06.2012, S. 4, 34 ff.
- [86] **Eurocopter Deutschland GmbH:** VPM-Datenbank, *Produktdaten Architektur/Design – INSTRUKT Framework*, 10.02.2012
- [87] **Gänswürger, P.; Krebs, F.; Larsen, L.:** DLR-ZLP INSTRUKT AP4700, *Zwischenbericht 06.12.2011-22.12.2012*, 25.01.2013, S. 12
- [88] **Meyer, M.:** Eurocopter, *INSTRUKT Schnittbilder*, Email vom 28.05.2013
- [89] **HexFlow:** Produkt Datenblatt, *Product Data, HexFlow RTM6-2, 180°C epoxy system for Resin Transfer Moulding and infusion technologie*, 07.06.2013, S. 3
- [90] **Reichensperger, C.:** Eurocopter INSTRUKT AP5400-01, *Weight Comparison of RTM and Prepreg Framework*, Issue A, 20.12.2013, S. 3-8
- [91] **Seeger, N.; Feike, M.:** Eurocopter Lastenheft/Pflichtenheft, *Materialflussplanung zur (teil-) automatisierten Fertigung von Hubschrauber-Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen*, Version 1, 11.2012
- [92] **VDI 2411:** *Begriffe und Erläuterungen im Förderwesen*, Beuth Verlag, Berlin, 06.1970
- [93] **Weiland, F.:** Airbus Helicopters, Gesprächsnotiz vom 02.03.2013, 13:30 Uhr
- [94] **Becker, M.:** Präsentation, *Thermisches Vermessen – Heißbügeln*, 16.04.2013, S. 8
- [95] **Goder:** Eurocopter Arbeitsvorbereitung Composite, *Neutraler Arbeitsplan S533M1050101 Molded Longeron 3LH Fert. DON*, 26.09.2011, S.3-6
- [96] **Seeger, N.; Welz, P.:** Gesprächsnotiz zur Abstimmung von RTM-Prozessschritten, 27.12.2011, 11:00 Uhr
- [97] **Seeger, N.:** Eurocopter INSTRUKT AP4300, *Single Diaphragma Test, MS-Excel*, 02.07.2013
- [98] **Seeger, N.:** Eurocopter INSTRUKT AP4300-03, *Prozessplanung zur (teil-) automatisierten Framework-Herstellung / „Front-End“ Prozesskette*, Issue A, 19.07.2013, S. 53-59, 64, 72
- [99] **Krebs, F.; Larsen, L.; Braun, G.:** DLR-ZLP, *Zwischenbericht INSTRUKT*, 14.12.2011, S. 7, 8, 10, 11
- [100] **Seeger, N.; Eberth, U.; Steindl, Ch.; Krebs, F.; Kupke, M.:** Proceedings of the 4th International Workshop on Aircraft System Technologies, *Automated Assembly of Helicopter Subfloor Groups*, 23.-24.04.2013, Hamburg, Shaker Verlag, Aachen, 2013, S. 389
- [101] **Krebs, F.:** Präsentation DLR-ZLP, *INSTRUKT Status*, 26.10.2011, S. 6, 10
- [102] **Larsen, L.; Krebs, F.; Weyrauch, F.:** Eurocopter INSTRUKT, Präsentation DLR-ZLP, *Erste Konzeptentwürfe: Prozesskette Assembly*, 20.07.2011, S. 14, 18

- [103] **Hardt, M.:** Eurocopter INSTRUKT AP4700-01, *Konzeptumsetzung der Prozesskette Assembly für ausgewählte Schritte – Input für DLR ZLP*, Issue B, 30.06.2011, S. 7, 8, 14, 18
- [104] **Meer, T.:** EADS Innovation Works INSTRUKT Technischer Bericht, *Beitrag zur Bauteilunabhängigen Prozessspezifikation*, 10.05.2011, S. 5
- [105] **Fuhrmann, J.:** Gesprächsnotiz vom, 26.09.2013, 14:00 Uhr
- [106] **Habenicht, G.:** *Kleben, Grundlagen, Technologien, Anwendungen*, 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2009
- [107] **Wehlan, H.:** ECD-TN-EDVLO-2013-035, *Abschlussbericht INSTRUKT – AP3200/3400/3500*, 07.2013, S. 55
- [108] **Wehlan, H.; Strobl, A.:** Eurocopter Spezifikation, *Spot-Curing Einheit zur schnellen punktuellen Aushärtung von Shim- und Klebstoffen*, 26.04.2011, S. 8, 10
- [109] **Wehlan, H.; Reichelsdorfer, R.:** ECS6054-1031, Eurocopter Technical Specification, *Adhesive pastes for non structural and structural applications*, 04.2007, S. 8
- [110] **Gubernatis, S.; Bätge N.:** Eurocopter Spezifikation, *Messsystem für die Spaltanalyse von CFK Bauteilen*, 03.2012
- [111] **Kustosz, P.:** Fachhochschule Aachen / Airbus Helicopters - Studienarbeit, *Schnittstelle zur Parameterisierung von PPR/PPS Plandaten für dynamische Materialflusssimulationen in DELMIA QUEST*, 04.01.-31.03.2014
- [112] **Kustosz, P.:** Fachhochschule Aachen / Eurocopter - Studienarbeit, *Materialflusssimulation für die Montage von H/C Bodengruppen*, 04.2013
- [113] **Kustosz, P.:** Fachhochschule Aachen / Airbus Helicopters - Bachelor Thesis, *Dynamische Materialflusssimulation für die Produktion von H/C Strukturbauteilen*, 07.2014
- [114] **Gänswürger, P.:** Technischer Bericht INSTRUKT DLR-ZLP, *Konzept Framestation*, 04.2012, S. 2 ff.
- [115] **Roser, T.:** Eurocopter Zwischenbericht, *PRESTO_II-2011*, Förderkz. 20W0802D, 2011
- [116] **Braun, H.; Ferber, M.:** Grenzebach / Eurocopter, Präsentation, *Werkzeugwechselsystem*, [828 756], 05.09.2011, S. 3, 5-9
- [117] **KUKA Robotics:** Spezifikation, *KR C4 CK Specification - Spez KR C4 GI*, V10.1, 19.03.2014
- [118] **KUKA Robotics (2014):** KUKA Robotics Produkte, Internet, url: <http://www.kuka-robotics.com/de/products/controllers/smartPAD/start.htm>, 09.05.2014
- [119] **Ehinger, C.; Glück, A.:** IWB Zwischenbericht – INSTRUKT, *Entwicklung von Automatisierungslösungen für eine wirtschaftliche Fertigung von Hubschrauber-Spantelemente*, 12.2011, S. 8-16

- [120] **Sommer, B.:** Fachhochschule Rosenheim / Eurocopter Diplomarbeit, *Konstruktion und Umsetzung eines Ultraschallfunktionskopfes zur Verschweißung von Carbonfaser- Vorformlingen für Luftfahrt-Strukturbauteile*, 04.04.2011, S. 47
- [121] **Still:** Technisches Datenblatt, *Stapler RX60 Technische Daten, Elektor-Gabelstapler*, 08.2013
- [122] **Still:** Technisches Datenblatt, *R07/R08 Technische Daten, Elektor-Schlepper und –Transporter*, 08.2012
- [123] **Schönfelder, T.:** Eurocopter Blatt 1, *Abfallentsorgung lt. Farbleitsystem*, 01.04.2011
- [124] **DIN 31051:** *Grundlagen der Instandhaltung*, Beuth Verlag, Berlin, 09.2012
- [125] **Brodman, T.:** Hochschule Neu-Ulm / Eurocopter - Bachelor Thesis, *Kosten- und Investitionsrechnung zur Herstellung von Hubschrauberbodengruppen*, 11.2013, S. 21-40
- [126] **Eurocopter Deutschland GmbH:** VPM-Datenbank, *Produktdaten Preliminary Design – INSTRUKT*, 04.2012
- [127] **Eurocopter Deutschland GmbH:** VPM-Datenbank, *Produktdaten Detail Design – INSTRUKT*, 05.2012
- [128] **Humantec Industriesysteme:** Angebot Nr.: 1950 / 02, *Humantec Multifunktionscutter MFC 180/250 – HUMANCAD –System*, 23.09.2002, S. 4-7
- [129] **MAKA Systems:** Betriebsanleitung MM 7s, *Technische Dokumentation T210442.doc*, 01.09.2008
- [130] **Hahn & Kolb Werkzeuge GmbH:** Betriebsanleitung, *HEMA Bandsägetechnik Schneidsysteme UH 900L/M 910 242*; 04.2012, S. 38-39
- [131] **KUKA Roboter GmbH:** Spezifikation, *Kuka Robots Quantec ultra V3 de*, 02.12.2010, S. 20-25
- [132] **Heller, K.:** Präsentation, Presto TP1: *Erweiterung des Einsatzspektrums eines Ultraschall-Endeffektors zur automatisierten Herstellung von Faserverbundbauteilen*, 28.10.2011, S.15
- [133] **Weiland, F.:** INSTRUKT – Zwischenbericht, Förderkz. 20W0908; 31.12.2012, S.41-42
- [134] **Maurer, D.; Mang, P.; Hennes, S.:** Institut für Verbundwerkstoffe, *Abschlussbericht: INSTRUKT – Robotergestütztes Kleben – Entwicklung neuer Aushärtungsstrategien auf Basis der induktiven Erwärmung*, 31.12.2012, S.6, 17-20, 46
- [135] **Plasmatreat (2012):** Übersicht Plasmaerzeuger, Internet, url:www.plasmatreat.de, *Datenblatt DSDD05_12*, 12.2009
- [136] **Krammel, W.:** Angebot von Plasmatreat GmbH an Eurocopter: #P10-26120, *OPENAIR® Plasma – System RD1004-FG5002*, 05.2011
- [137] **Wehlan, H.; Strobl, A.:** Spezifikation – INSTRUKT AP3200, *Applikationseinheit zum automatisierten Klebstoffauftrag*, Entwurf V.1, 26.04.2011

- [138] **DLR-ZLP:** Bericht – INSTRUKT Status AP4700: *Konzept Framestation*, 28.02.2012, S. 18
- [139] **Eurocopter Deutschland GmbH:** Typenschilder - Diaphragma Anlage, 04.2012
- [140] **Hahlbohm, E.:** Eurocopter, Datenblatt RTM-Presser, 28.06.2005, S. 1-2
- [141] **Eurocopter Deutschland GmbH:** INSTRUKT – Zwischenbericht: *Förderkz. 20W0908*, 31.12.2012
- [142] **DLR-ZLP:** *Konstruktionsstand: Station Bodenschale 3D Modell*, 16.10.2012
- [143] **Sommer Automatic:** Technisches Datenblatt, *P-WWR1160F*, 21.05.2014, S. 47
- [144] **Bracht, U., Geckler, D.; Wenzel, S.:** *Digitale Fabrik – Methoden und Praxisbeispiele*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, S. 371, 373, 375, 384, 385
- [145] **DIN EN ISO 13849 Blatt 1:** *Sicherheiten von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen*, Beuth Verlag Berlin, 12.2008
- [146] **DIN EN 9200:** *Luft- und Raumfahrt – Programm Management – Richtlinien für eine Projektmanagement Spezifikation*, Beuth Verlag Berlin, 02.2009
- [147] **VDI 4499 Blatt 1:** *Digitale Fabrik Grundlagen*, Beuth Verlag Berlin, 02.2008
- [148] **VDI 3633 Blatt 1:** *Simulation von Logistik-, Materialfluss-, und Produktionssystemen – Grundlagen*, Beuth Verlag Berlin, 12.2010
- [149] **VDI 2689 Entwurf:** *Leitfaden für Materialflussuntersuchungen*, Beuth Verlag Berlin, 05.2010
- [150] **VDI/VDE 2600:** *Prüfprozessmanagement – Identifizierung, Klassifizierung und Eignungsnachweise von Prüfprozessen*, Beuth Verlag Berlin, 10.2013
- [151] **DIN EN ISO 12100:** *Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung*, Beuth Verlag Berlin, 03.2011
- [152] **Moser, K.:** *Faserkunststoffverbund, Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen*, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1992; S.518
- [153] **DIN 4004:** *Zuverlässigkeit – Begriffe*, Beuth Verlag Berlin, 12.1990
- [154] **DIN IEC 60050-351:** *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch Teil: 351 Leittechnik*, Beuth Verlag Berlin, 06.2009

Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

Bürkle, K.: Universität Stuttgart / Eurocopter – Studienarbeit, *Prozesssimulation H/C Fertigung am Projekt INSTRUKT*, 08.2012

Aurand, Ch.: Technische Hochschule Mittelhessen / Eurocopter – Master Thesis, *Entwicklung des Manuals zum Prozess „Develop & Design Helicopter Airframes“*, 10.2012

Kustos, P.: Fachhochschule Aachen / Eurocopter - Studienarbeit, *Materialflusssimulation für die Montage von H/C Bodengruppen*, 04.2013

Brodman, T.: Hochschule Neu-Ulm / Eurocopter, Bachelor Thesis, *Kosten- und Investitionsrechnung zur Herstellung von Hubschrauberbodengruppen*, 11.2013

Kustos, P.: Fachhochschule Aachen / Airbus Helicopters - Studienarbeit, *Schnittstelle zur Parameterisierung von PPR/PPS Plandaten für dynamische Materialflusssimulationen in DELMIA QUEST*, 04.01.-31.03.2014

Kustos, P.: Fachhochschule Aachen / Airbus Helicopters - Bachelor Thesis, *Dynamische Materialflusssimulation für die Produktion von H/C Strukturbauteilen*, 06.2014

Dank

An dieser Stelle möchte ich all denen meinen Dank aussprechen, die zum Gelingen dieser Doktorarbeit beigetragen haben. Insbesondere gilt dieser Dank Prof. Dr.-Ing. Michael Kupke und Prof. Dr.-Ing. Klaus Drechsler, für die Anregungen während der Ausarbeitung und begleitenden Bemerkungen.

Des Weiteren danke ich meinem Betreuer Ulrich Eberth, dem Projektleiter zum Forschungsprojekt Instruktor Christoph Steindl und dem Leiter für F&E Programme Markus Feiler von Airbus Helicopters Deutschland GmbH.

Darüber hinaus gilt der Dank auch meinen Kollegen von Airbus Helicopters, Gabriele Dreher, Martin Wünsche, Wolfgang Schmidt, Johann-Peter Scheitle, Walter Oefner, Stephan Gubernatis und Dr. Frank Weiland, die zu Beginn der Arbeit ihre Ideen und Diskussionen beisteuerten, und all jenen die bei der Realisierung von INSTRUKT mitwirkten.

Diese Arbeit ist meiner Familie gewidmet, ohne deren Unterstützung eine Vollendung nicht möglich gewesen wäre.